



М. М. ЭФРУССИ

МИКРОФОНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ



МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 856

М. М. ЭФРУССИ

МИКРОФОНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1974

6Ф2.7
Э94
УДК 621.395.61

Эфрусси М. М.

Э94 Микрофоны и их применение. М., «Энергия», 1974.
88 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 856).

В брошюре описываются принципы работы и устройство различных типов микрофонов как для радиолюбительских устройств, так и для профессиональных систем звукоусиления и звукозаписи, включая самые последние их модели.

Приводятся основные схемы соединения нескольких микрофонов и их расчет. Сообщаются сведения по фазировке микрофонов и их эксплуатации, а также технические данные большинства микрофонов отечественного производства и некоторых типов зарубежных микрофонов, применяемых у нас в стране.

Брошюра рассчитана на широкий круг радиолюбителей.

Э $\frac{30403\text{-}287}{051(01)\text{-}74}$ 313-74 6Ф2.7

МИХАИЛ МИХАЙЛОВИЧ ЭФРУССИ

МИКРОФОНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Редактор А. П. Ефимов
Редактор издательства В. А. Абрамов
Художественный редактор Д. И. Чернышев
Технический редактор Т. А. Маслова
Корректор А. К. Улегова

Сдано в набор 10/XII 1973 г. Подписано к печати 6/V 1974 г.
Т-08444 Формат 84×108 1/32 Бумага маш. мел. № 2
Усл. печ. л. 4,62 Уч.-изд. л. 5,35 Тираж 50 000 экз. Зак. № 1200
Цена 24 коп.

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Микрофоны — широко применяемые электроакустические преобразователи. По распространенности они уступают лишь громкоговорителям. Микрофоны применяются в звуковом и телевизионном вещании, звукозаписи (включая звуковое кино), в технике связи диспетчерского управления и звукоусиления, в аппаратуре для плохо слышащих. С помощью микрофонов осуществляют радиорепортаж изо всех точек земного шара и даже из космоса и с Луны. В процессе технического совершенствования микрофонов были исследованы многочисленные способы преобразования звукового сигнала в электрический и разработан большой ассортимент микрофонов, использующих различные виды преобразований. Этот ассортимент удовлетворяет разнообразным требованиям, включая самые жесткие, выдвигаемые звуковым и телевизионным вещанием и измерительной техникой.

Вышедшая несколько лет назад в справочной серии «Массовой радиобиблиотеки» брошюра «Микрофоны» освещала главным образом технические данные микрофонов.

В настоящей брошюре значительно больше внимания уделяется описанию и особенностям устройства различных микрофонов; наряду с этим приводятся их технические данные. В брошюре описаны наиболее распространенные типы микрофонов профессионального и любительского применения. Значительная часть содержащихся материалов относится к самым последним достижениям электроакустики в этой области.

Большую помощь в работе над рукописью этой книги и подборе материалов автору оказал А. Г. Дольник, которому он приносит свою благодарность.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

При изложении и формулировке технических характеристик и параметров микрофонов весьма важно соблюдать единство физических и технических терминов и определений, применяемых в микрофонной технике. Большинство их регламентируется ГОСТ 16123-70 («Микрофоны. Методы электроакустических испытаний и измерений») и приводится в «Международном электротехническом словаре».

Звук — слуховое ощущение, вызванное акустическим (звуковым) волновым колебанием. Источником звуковых волн может являться любой процесс, вызывающий местное изменение давления в упругой среде (воздух, вода и т. п.), например при действии акустического излучателя.

Акустический излучатель (излучатель звука) — устройство для создания звукового поля в упругой среде.

Звуковое поле — область пространства, в котором имеются звуковые волны. Различают *свободное звуковое поле,* когда влияние ограждающих поверхностей (отражающих звуковые волны) ничтожно мало, и *диффузное звуковое поле,* т. е. поле в каждой точке которого плотность звуковой энергии и средняя акустическая (звуковая) мощность на единицу площади одинаковы во всех направлениях.

Звуковое давление — разность между статическим (атмосферным) давлением и давлением в данной точке звукового поля. Измеряется в паскалях (Па). Один паскаль равен одному ньютону на квадратный метр поверхности, на которую действует это давление.

Плотность звуковой энергии — звуковая энергия, содержащаяся в единице объема. Измеряется в джоулях на кубический метр (1 Дж/м^3).

Звуковая мощность — поток звуковой энергии, проходящий за 1 с через данную поверхность перпендикулярно ей. Определяется по величинам звукового давления или интенсивности звука. Единица измерения — ватт.

Интенсивность звука — среднее значение мгновенной плотности потока звуковой энергии (1 Вт/м^2).

Скорость звука, или скорость распространения звуковой волны, — путь, проходимый этой волной в однородной среде, в единицу времени. Измеряется в метрах в секунду (в воздухе при температуре 20 °С и давлении 1 кгс/см^2 составляет 344 м/с).

Длина волны — расстояние между ближайшими точками волны, находящимися в одинаковой фазе колебаний; расстояние, проходимое распространяющейся волной за один период колебания.

Период — продолжительность одного колебания.

Частота — количество колебаний в секунду.

Фаза — стадия движения колеблющейся частицы или тела относительно какого-либо их положения, принятого за начальное. Выражается в градусах или радианах.

Синфазность — равнофазность; одинаковая фаза переменных гармонических величин.

Чистый тон — звук, создаваемый синусоидальным акустическим колебанием.

Шум — неприятный или нежелательный звук случайного характера, не содержащий ясно выраженных частотных составляющих.

Белый шум — сложный звук, спектр которого, измеренный анализатором с постоянной шириной полосы частот, является непрерывной и гладкой функцией частоты в достаточно широком диапазоне.

Спектр акустический — характеристика звука, выражающая его частотный (спектральный) состав, получаемая в результате анализа звука.

Интерференция — взаимодействие двух или более звуковых волн, одновременно приходящих в данную точку, приводящее к ослаблению или усилению интенсивности звука в зависимости от разности фаз между ними (сдвига фаз).

Дифракция — изменение направления распространения звуковой волны, вызванное прохождением ее около края какого-либо препятствия.

Реверберация — затухающее звучание в закрытом помещении после прекращения действия источника (излучателя) звука, обусловленное многократными отражениями звука от ограничивающих поверхностей. Стандартное время реверберации — время, в течение которого энергия затухающего звука уменьшится в миллион раз $(10)^6$ от ее начального значения, что соответствует снижению уровня интенсивности на 60 дБ.

Октава — интервал частот (полоса), в котором отношение большей крайней частоты к меньшей равно 2.

Уровень — выражение величины акустического или электрического сигнала в децибелах.

Децибел — логарифмическая относительная единица измерения различных физических величин.

Рабочая точка поля — место, в котором определяются параметры поля и куда помещают рабочий центр испытываемого микрофона.

Рабочий центр — точка микрофона, от которой производят отсчет расстояния (при измерении). Если эта точка не оговорена в технической документации, за нее принимают центр передней поверхности микрофона.

Напряжение холостого хода — напряжение на выходе микрофона без нагрузки или при сопротивлении нагрузки, влияние которого пренебрежимо мало.

Номинальное сопротивление нагрузки — сопротивление нагрузки, которое должно быть подключено к выходу микрофона при его работе (оговаривается в технической документации на микрофон).

Номинальный диапазон частот — диапазон частот, в котором определяются параметры микрофона (оговаривается в технической документации на микрофон).

Чувствительность — отношение напряжения холостого хода на выходе микрофона к звуковому давлению, действующему на микрофон.

Средняя чувствительность — среднеквадратичное значение чувствительности в номинальном диапазоне частот микрофона; усреднение производят по значениям чувствительности на частотах, расположенных равномерно в логарифмическом масштабе.

Уровень чувствительности чувствительность, выраженная в децибелах относительно чувствительности, равной 1 В·м²/Н. Определяется по формуле $N_V = 20 \lg e - 60$, где e — чувствительность микрофона, мВ·м²/Н.

Стандартный уровень чувствительности — отношение напряжения, развиваемого на номинальном сопротивлении нагрузки ($Z_н$) при звуковом давлении 1 Н/м² к напряжению, соответствующему мощности 1 мВт, выраженное в децибелах. Определяется по формуле $N_m = 20 \lg e - 10 \lg Z_н - 30$, где e — чувствительность микрофона, мВ·м²/Н.

Частотная характеристика чувствительности — зависимость чувствительности или уровня чувствительности от частоты.

Неравномерность частотной характеристики чувствительности — отношение максимальной чувствительности к минимальной в номинальном диапазоне частот микрофона, выраженное в децибелах.

Характеристика направленности — зависимость чувствительности микрофона на частоте f или в полосе частот со среднегеометрической частотой f в свободном поле, от угла между рабочей осью микрофона и направлением на источник звука.

Рабочая ось — прямая, проходящая через рабочий центр и совпадающая с направлением преимущественного использования микрофона.

Перепад чувствительности «фронт — тыл» — отношение чувствительности микрофона в направлении рабочей оси к чувствительности под углом 180° относительно этой оси.

Средний перепад чувствительности «фронт — тыл» — среднеквадратичное значение перепадов «фронт — тыл» в диапазоне частот, оговоренном в технической документации на микрофон; усреднение производят по значениям перепадов на частотах, расположенных равномерно в логарифмическом масштабе.

Коэффициент нелинейных искажений — отношение среднеквадратичной суммы спектральных компонентов напряжения на выходе микрофона, отсутствующих в спектре звукового давления, действующего на микрофон, и обусловленных его нелинейностью, к среднеквадратичной сумме спектральных компонентов напряжения на выходе микрофона, присутствующих в спектре звукового давления.

Динамический диапазон микрофона — диапазон звуковых давлений, воспринимаемых микрофоном, нижний предел которого ограничен уровнем собственного шума микрофона, а верхний — нелинейными искажениями, коэффициенты которых превышают допустимую величину, оговариваемую в технической документации на микрофон (выражается в децибелах).

Уровень эквивалентного звукового давления — уровень звукового давления (относительно давления $2 \cdot 10^{-5}$ Н/м²), создающего на выходе микрофона напряжение, равное напряжению, возникающему под воздействием внешних и внутренних помех (шума), при отсутствии звукового поля. Определяется по формуле

$$N_ш = 20 \lg \frac{U_ш}{E_{действ.р} \, 2 \cdot 10^{-5}}, \text{ дБ},$$

где $U_ш$ — напряжение шума на выходе микрофона, мВ; $E_{действ.г}$ — действующая речевая чувствительность микрофона, мВ·м²/Н, эту чувствительность вычисляют по формуле

$$E_{действ.р} = \sqrt{\frac{\sum\limits_{n=1}^{n=6} E_n^2}{6}},$$

где E_n — чувствительность микрофона иа частотах 200, 250, 315, 400, 500 и 630 Гц.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОФОНОВ

В состав микрофона входят: чувствительный элемент (капсюль), согласующий элемент (выходной трансформатор или электронный каскад), соединительные шланги, блок питания и т. п., если они представляют собой неотъемлемые части микрофона и оговорены в соответствующей технической документации.

Микрофоны классифицируют по следующим основным признакам: по способу преобразования акустических колебаний в электрические; по способу воздействия акустических (звуковых) колебаний на диафрагму капсюля; по классам качества.

По способу преобразования наибольшее распространение получили следующие типы микрофонов: электродинамические (подразделяются на катушечные и ленточные), конденсаторные или электростатические, пьезоэлектрические, электромагнитные и угольные.

В телевидении, радиовещании, профессиональной звукозаписи в настоящее время применяются главным образом конденсаторные и электродинамические (катушечные и ленточные) микрофоны. В любительской звукозаписи применяются катушечные микрофоны.

Область применения электромагнитных и пьезоэлектрических микрофонов чаще всего ограничивается устройствами звукоусиления (например: слуховые аппараты, мегафоны), устройствами связи и передачи информационных сообщений, объявлений, команд и т. п., когда требуется лишь достаточная разборчивость речи, а вопросы точной передачи тембра не играют особой роли. Электромагнитные микрофоны встречаются в установках диспетчерской связи наряду с угольными. Последние широко применяются в устройствах внутренней, городской и междугородной телефонной связи.

По способу воздействия звуковых колебаний на диафрагму капсюля различают три разновидности микрофонов: приемники давления, приемники градиента давления и комбинированные приемники.

Приемники давления имеют диафрагму, открытую только с одной стороны (фронтальной) (рис. 1, *а*); воздействующая на нее сила $F=Spk$, где S — площадь диафрагмы; p — звуковое давление; k — коэффициент, учитывающий дифракционные явления, связанные с размером микрофона (d). У приемников градиента давления открыты обе стороны диафрагмы (рис. 1, *б*), на которую уже будет воздействовать сила $F=S\Delta p$, где Δp — градиент давления, зависящий от разности фаз, возникающей из-за дополнительного пути ($d\cos\theta$), проходимого звуковой волной до задней (тыловой) стороны диафрагмы. При направлении звуковой волны под углом θ к рабочей оси микрофона градиент давления $\Delta p=\varphi p$; здесь коэффициент

$$\varphi = 2\pi \frac{d\cos\theta}{\lambda};$$

сила, воздействующая на диафрагму такого микрофона, $F = 2\pi Sp \frac{d \cos \theta}{\lambda}$ (λ — длина звуковой волны).

В комбинированных приемниках одновременно используются оба способа приема звуковых колебаний.

Способом воздействия звуковых колебаний на диафрагму определяется характеристика направленности микрофонов. На рис. 2 приводятся основные виды таких характеристик.

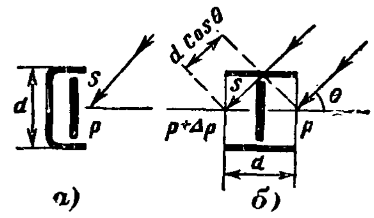


Рис. 1. Схемы воздействия на диафрагму.

а — приемник давления; *б* — приемник градиента давления.

Микрофоны-приемники давления не обладают направленными свойствами и их характеристики направленности на низших и средних частотах имеют вид круга (рис. 2, *а*). С повышением частоты характеристика принимает вытянутую форму, что объясняется дифракцией звуковых волн, при которой размеры микрофона соизмеримы с длиной волны. Чем меньше размеры микрофона, тем при более высоких частотах характеристика начинает отличаться от окружности.

Микрофоны-приемники градиента давления, иногда не совсем правильно называемые скоростными, обладают направленными свойствами. В зарубежной и нашей литературе их часто называли микрофонами скорости, однако это название неправильно отражает физическую сущность их действия. Их чувствительность максимальна при углах θ, равных 0 или 180° ($\cos \theta = 1$) и минимальна при углах θ, равных 90 и 270° ($\cos \theta = 0$), поэтому характеристика направленности в полярных координатах имеет вид «восьмерки» (рис. 2, *б*).

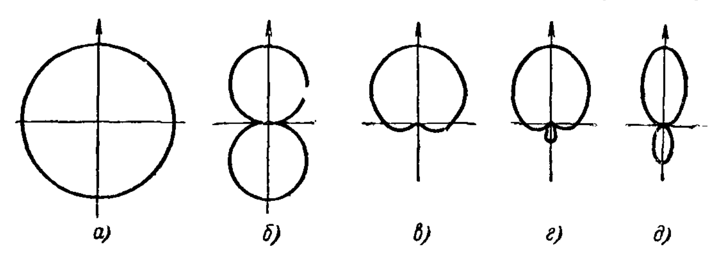


Рис. 2. Основные виды характеристик направленности микрофонов (в полярных координатах).

а — круг; *б* — косинусоида («восьмерка»); *в* — кардиоида; *г* — суперкардиоида; *д* — гиперкардиоида.

В комбинированных микрофонах достигается односторонняя направленность. Наиболее просто это осуществляется электрическим соединением двух микрофонов: приемника давления и градиента

давления, близко расположенных один по отношению к другому. Таким образом, можно получить однонаправленную характеристику в виде кардиоиды (рис. 2, *в*), суперкардиоиды (рис. 2, *г*) или гиперкардиоиды (рис. 2, *д*) в зависимости от соотношения чувствительностей соединяемых микрофонов.

На рис. 3 показано, как формируется кардиоидная характеристика направленности комбинированного микрофона. Она получается, когда приемники давления и градиента давления имеют одинаковую чувствительность. При падении звуковой волны с фронта (+) напряжения, развиваемые обоими микрофонами, будут в фазе и поэтому сложатся, а с тыла (—) — в противофазе и будут вычитаться. Чем больше чувствительность микрофона-градиента давления по сравнению с чувствительностью микрофона-приемника давления, тем более обостряется характеристика направленности и у нее появляется задний лепесток. Это указывает, что микрофон будет принимать (с пониженной чувствительностью) звук с тыльной стороны.

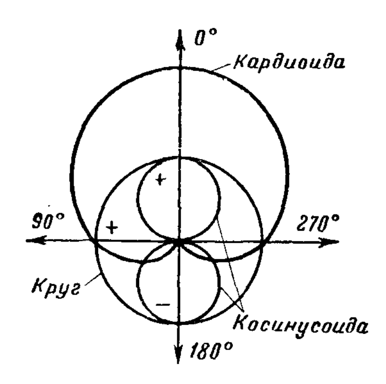


Рис. 3. Формирование кардиоиды из косинусоиды и круга.

Комбинированный микрофон можно осуществить в виде единой конструкции с одной диафрагмой, позади которой имеется специальная механико-акустическая система (акустический фазовращатель). Такой вариант по конструктивным соображениям оказался наиболее предпочтительным.

Форма характеристики направленности всех микрофонов зависит в той или иной степени от частоты, а также от явлений, связанных с прохождением звуковых волн через среду и различные акустические элементы микрофона, формирующие и корректирующие характеристику направленности.

Микрофонам-приемникам градиента давления, а также всем комбинированным (направленным) микрофонам свойствен «эффект ближней зоны», выражающийся повышением чувствительности в области низших частот, когда эти микрофоны находятся вблизи источника звука.

Предполагается, что источник звука излучает сферические (шаровые) волны, т. е является точечным.

Эффект объясняется тем, что на достаточно большом расстоянии от источника звука разность звуковых давлений на передней и задней сторонах диафрагмы определяется лишь изменением фазы давления на пути звуковой волны ($d\cos\theta$), а амплитуду давления можно считать одинаковой. На небольших расстояниях от источника звука заметно изменяются амплитуды звукового давления. Поэтому в ближней зоне градиент звукового давления определяется совместными изменениями и амплитуды, и фазы.

Во многих случаях применение микрофонов с круговой характеристикой направленности, т. е. с чувствительностью, не зависящей от угла падения звуковой волны, оказывается нецелесообразным.

Недопустимо применение ненаправленных микрофонов при повышенном уровне шумов в зале или другом помещении, где они установлены, а также при слишком большом времени реверберации.

При употреблении ненаправленного микрофона трудно выделить звучание солиста (певца, инструменталиста) из звучания ансамбля (оркестра).

Эти причины привели к ограниченному применению, а следовательно, и производству ненаправленных микрофонов. По этим же причинам широкое распространение нашли однонаправленные кардиоидные микрофоны.

Качество микрофона характеризуется рядом параметров и технических характеристик. Четкое разделение по классам качества существует в настоящее время только для электродинамических катушечных микрофонов (ГОСТ 6495-66). Остальные микрофоны также можно классифицировать по классам от высшего до третьего на основании общих требований ГОСТ 11515-65 («Тракты радиовещательные, классы качества»). При выборе микрофона следует всегда иметь в виду, что его класс качества как первичного звена должен быть выше класса качества остальной аппаратуры тракта или в крайнем случае равен ему.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОФОНОВ

К основным техническим характеристикам микрофонов относят: осевую чувствительность, номинальный диапазон частот, неравномерность частотной характеристики в этом диапазоне и выходное сопротивление Кроме того, для правильной эксплуатации микрофонов надо знать номинальное сопротивление их нагрузки, уровень собственных шумов и характеристику направленности. Последняя зависит в основном от конструктивных особенностей капсюля микрофона. В отношении нелинейных искажений известно, что они малы (0,5—1,0%), когда уровни звукового давления, воздействующего на микрофон, не превышают 120 дБ; это условие справедливо для большинства типов микрофонов, кроме угольных.

Графическое изображение зависимости уровня чувствительности (dBV) или стандартного уровня чувствительности (dBm) микрофона от частоты называют частотной характеристикой чувствительности. Значения уровня чувствительности определяются в результате измерений, проводимых в номинальном диапазоне частот, согласно стандарту или ТУ для каждого типа микрофона. Методы и условия измерения всех технических характеристик микрофонов регламентируются ГОСТ 16123-70 «Микрофоны. Методы электроакустических испытаний и измерений». Частотная характеристика наносится на бланк с логарифмической шкалой частот (по горизонтальной оси) и линейной шкалой уровней (по вертикальной оси). Рекомендуется, чтобы длина отрезков, соответствующих отношению частот 10 : 1 на горизонтальной оси, равнялась разности уровней 10, 25 или 50 дБ, откладываемых по вертикальной оси.

Основной частотной характеристикой считается характеристика, построенная по результатам измерений чувствительности на рабочей оси микрофона. Эту характеристику называют осевой или фронтальной (отмечается знаком 0°). По ней определяют неравно-

мерность чувствительности (дБ), как разность максимального и минимального значений уровня чувствительности.

Помимо фронтальной (0°) частотной характеристики чувствительности микрофона, часто на тот же бланк наносят частотные характеристики чувствительности, измеренные при повороте микрофона на 180 (тыловая) и 90°.

В качестве примера на рис. 4 приведены указанные типовые частотные характеристики конденсаторного микрофона 19А-19, из которых видно, что фронтальная частотная характеристика имеет неравномерность 2 дБ, а максимальная и минимальная разности между чувствительностью по фронту и чувствительностью по тылу составляют 20 и 15 дБ соответственно. Чем больше эта разность и чем меньше она зависит от частоты, тем лучше направленные

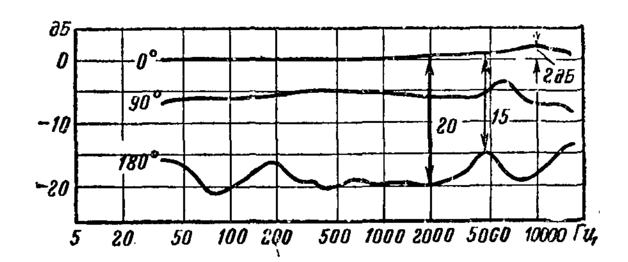


Рис. 4. Типовые частотные характеристики чувствительности конденсаторного микрофона 19А-19 для углов приема 0 (фронтальная), 90 и 180° (тыловая).

свойства микрофона. Однако это свойство более наглядно определяется характеристиками направленности, которые по результатам измерений (согласно ГОСТ 16123-70) строятся в полярных координатах. Частотные характеристики разных экземпляров микрофонов могут отличаться на отдельных участках от типовой на ±2 дБ и более, что обычно оговаривается в технических условиях (ТУ).

Собственные (внутренние) шумы электродинамических микрофонов очень малы и, как правило, не нормируются. Конденсаторные микрофоны имеют более высокий уровень шумов. Эти шумы обусловливаются: тепловым шумом сопротивлений в электрических цепях капсюля, током его утечки, шумом лампового или транзисторного согласующего каскада (реже — помехами от источника питания). В конденсаторных микрофонах с высокочастотной схемой включения капсюля шум зависит от формы тока в резонансном контуре, к которому присоединен капсюль. Величину уровня шума конденсаторного микрофона обычно указывают в паспорте микрофона.

Уровень собственного шума микрофона выражают уровнем эквивалентного звукового давления, т. е. за нуль шкалы звука, создающего уровень сигнала, равный шумовому, принимают $2\cdot10^{-5}$ Н/м². Используют и другое определение уровня собственных шумов микрофона; его вычисляют по формуле

$$N_ш = 20 \lg (U_ш/U_0),\ дБ,$$

где $U_ш$ — эффективное значение напряжения, развиваемого микрофоном в отсутствие звукового сигнала, а U_0 — напряжение при эффективном звуковом давлении 0,1 Н/м^2.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ МИКРОФОНЫ

Катушечные микрофоны. Когда в магнитном поле движется проводник, в нем наводится электродвижущая сила (э. д. с.), а если он замкнут, то через него течет электрический ток. Такое явление называется индукцией (наведением), и на этом основывается принцип действия электродинамического микрофона с подвижной катушкой, называемого «катушечным».

Достоинства этих микрофонов, появившихся в 1931 г., — достаточно удовлетворительные электроакустические параметры, небольшие габариты, малая масса, относительная простота устройства, как следствие дешевизна, и ряд других технических свойств, — позволяют применять их в самых различных эксплуатационных условиях.

Катушечные микрофоны бывают ненаправленные (с круговой характеристикой) и однонаправленные (с кардиоидной, суперкардиоидной или гиперкардиоидной характеристикой). Первые — приемники давления, вторые — акустически комбинированные приемники давления и градиента давления.

Рис. 5. Схематическое устройство электродинамического катушечного микрофона - приемника давления.

1 — диафрагма; *2* — звуковая катушка; *3* — гофрированный воротник; *4* — магнитопровод; *5* — керновый магнит; *6* — полюсный наконечник.

Устройство электродинамического катушечного микрофона приемника давления показано на рис. 5. Звукоприемным элементом в нем служит диафрагма *1*. Она скреплена со звуковой катушкой *2*. Для большей жесткости диафрагма имеет куполообразную форму. Диафрагма с катушкой при помощи гофрированного подвеса *3* (воротника) крепится на магнитной системе, состоящей из магнита *5*, полюсного наконечника *6* и магнитопровода *4*, таким образом, чтобы катушка с обмоткой полностью и свободно входила в кольцевой зазор магнитной системы. Под действием звуковых волн диафрагма свободно перемещается в осевом направлении. При этом витки пересекают магнитные линии радиального поля, существующего в зазоре магнитной системы, и в витках индуктируется э. д. с. Чем больше витков имеет катушка и чем сильнее магнитное поле (чем больше магнитная индукция), тем бо́льшая э. д. с. (при прочих равных условиях) создается микрофоном и тем большей чувствительностью он обладает.

Звуковую катушку наматывают тонким изолированным медным или алюминиевым проводом, обычно ПЭЛ 0,03—0,05.

В современных микрофонах применяют стержневые (керновые) или кольцевые (трубчатые) магниты из высококоэрцитивных магнитных сплавов, состоящих из стали с добавкой меди, алюминия, никеля (сплав ЮНД-4), а также кобальта и титана (сплавы ЮНДК-24, ЮНДК-25 и т. п.). Последние сплавы обладают лучшими магнитными свойствами. Для магнитопровода применяют мягкие стали марок ЭАА, К-50Ф2 и др., имеющие низкое магнитное сопротивление. Свойства примененных магнитных материалов во многом определяют электроакустические качества микрофонов, их конструкцию и размеры.

В результате механических колебаний, вызываемых звуковым давлением, катушка перемещается со скоростью v и в ней наводится (индуктируется) э. д. с. $E=Blv$. При этом амплитуда скорости в режиме холостого хода (без нагрузки) выразится равенством $v_0=F/z_м$, а э. д. с. в этом режиме можно определить по формуле

$$E_0=Bl\frac{F}{z_м},$$

где B — индукция магнитного поля в зазоре; l — длина проводника, свернутого в катушку; F — сила, приводящая в движение катушку; $z_м$ — полное механическое сопротивление подвижной системы.

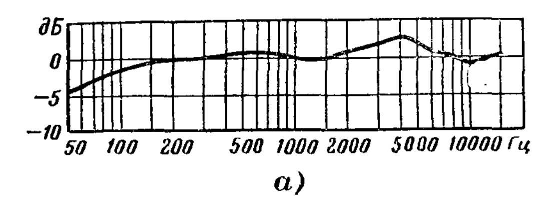
Формула справедлива при условии, что подвижная система совершает синусоидальные колебания установившейся (постоянной) амплитуды.

Выше было показано, что для приемников давления $F=kpS$, следовательно чувствительность такого микрофона в режиме холостого хода равна $e_{хх}=E_0/p=BlkS/z_м$. Она не зависит от направления прихода звуковых волн.

Произведение kS можно считать частотно независимым, так как коэффициент k, учитывающий дифракционные явления, растет с частотой, а площадь эффективной поверхности диафрагмы S уменьшается с частотой, из-за того, что разные точки диафрагмы с повышением частоты начинают колебаться с разными амплитудами, а вся диафрагма перестает колебаться как единое целое (поршень). Таким образом, единственным зависимым от частоты элементом остается механическое сопротивление $z_м$, величина которого и будет определять частотную характеристику микрофона. Получение частотно независимого полного механического сопротивления достигается рядом конструктивных мер, в результате которых создается сложная механико-акустическая колебательная система, состоящая из ряда воздушных полостей (объемов), сообщающихся через каналы (трубки) или щели различного сечения. При этом используются: полость между диафрагмой и керном, полость внутри магнитной системы, а также полости между магнитной системой и кожухом. Соединительные каналы или щели могут проходить через полюсные наконечники, керн, магнитопровод, нижний фланец и другие детали. Чтобы предотвратить резкое перемещение воздуха из одного объема в другой, по необходимости увеличивают сопротивление трения, закрывая каналы или щели тонкой тканью или заполняя их пористым материалом.

При соответствующем подборе всех элементов, образующих механико-акустическую систему, удается получить достаточно равномерную частотную характеристику чувствительности микрофона в широкой полосе частот.

На рис. 6, *а* приведена частотная характеристика одного из лучших ненаправленных катушечных микрофонов МД-59, имеющего номинальный диапазон частот от 50 до 15 000 Гц с неравномерностью 7—8 дБ. По типовым характеристикам направленности (рис. 6, *б*) видно, что совсем ненаправленным его можно считать



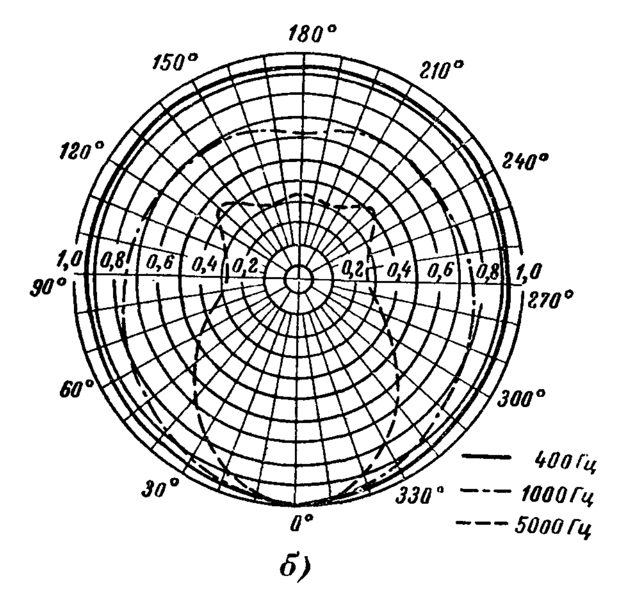


Рис. 6. Микрофон МД-59.

а — частотная характеристика чувствительности; *б* — характеристики направленности.

примерно до 1 000 Гц, а выше этой частоты характеристика направленности заметно обостряется из-за влияния дифракции на корпусе микрофона.

Внешний вид микрофона МД-59 показан на рис. 7, а его параметры приведены в приложении 1.

Ранее были описаны способы формирования однонаправленной характеристики электрическим соединением микрофонов давления

и градиента давления, а также указывалось на возможность создания акустически комбинированных приемников, имеющих односторонние характеристики направленности (см. рис. 2, *в*, *г* и *д*).

Для примера на рис. 8 приведен поперечный разрез кардиоидного микрофона МД-44, который имеет сравнительно простое устройство. Его подвижная система состоит из диафрагмы *1* со звуковой катушкой *2* и гофрированным воротником *3*; магнитная система содержит кольцевой магнит *4*, передний фланец *5* и задний фланец *6*. Последний выполнен вместе с керном. Внутри керна сделан калиброванный сквозной канал, в который входит трубочка *7*. Через нее звуковое давление действует и на заднюю сторону диафрагмы. Внутри трубочки вставлены тонкие перегородки *8* из капроновой ткани; слой такого материала *9* закрывает и входное отверстие канала, находящегося под диафрагмой. Канал вместе с трубочкой и перегородками, создающими нужное акустическое сопротивление, образует механико-акустическую систему (фазовращатель), обеспечивающую кардиоидную характеристику направленности микрофона.



Рис. 7. Микрофон МД-59 на настольной стойке.

В описанной конструкции звуковое давление p_1 на передней стороне диафрагмы *1* отличается по фазе φ_1 от звукового давления p_2 во входном отверстии трубочки *7*. В свою очередь давление p_2 отличается по фазе φ_2 от давления p_3, действующего с задней стороны диафрагмы. Разность фаз φ_1 зависит от размеров микрофона и определяется формулой

$$\varphi_1 = 2\pi \frac{d \cos\theta}{\lambda},$$

где d — кратчайшее расстояние между передней стороной диафрагмы и входным отверстием трубочки; λ — длина звуковой волны.

Разность фаз φ_2 зависит от массы воздуха в канале и трубочке *7*, гибкости воздушного объема под диафрагмой *1* и акустического сопротивления, создаваемого перегородками *8* и *9*.

Таким образом, между звуковыми давлениями p_1 и p_3 и, следовательно, между силами, воздействующими на диафрагму с обеих сторон, существует разность фаз $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$.

Для обеспечения кардиоидной характеристики направленности размеры микрофона необходимо выполнить такими, чтобы при фронтальном падении звуковой волны ($\theta = 0$) суммарный сдвиг фаз $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ был около $180°(\pi)$ и обе составляющие силы, приложенные встречно складывались ($\cos 180° = -1$). Кроме того, необходимо обеспечить равенство фаз $\varphi_1 = \varphi_2$, чтобы при падении звуковой волны с тыла звуковые давления p_1 и p_2 уравнялись, а результирующая сила стала равной нулю. При падении звуковой волны под уг-

лом θ к оси микрофона разность фаз φ_1 будет изменяться пропорционально cos θ, соответственно изменяя силу, действующую на диафрагму. Условие равенства фаз $\varphi_1=\varphi_2$ в широком диапазоне частот практически выполнить трудно.

Типовая частотная характеристика микрофона МД-44 приводится на рис. 9, *а* для падения звуковой волны спереди («фронт») и сзади («тыл»); на рис. 9, *б* показаны типовые характеристики направленности. Форма последних, как это видно, изменяется с частотой, из-за того что изменяются фазовые соотношения между звуковыми волнами, воздействующими на диафрагму с фронта и тыла. Чтобы обеспечить необходимый сдвиг фаз, приходится усложнять акустический фазовращатель, вводя, например, не один канал, а несколько (3—4) разных, рассчитанных на работу в узких частотных полосах. Применяют также корректирующие объемы и полости. Они служат и для улучшения частотной характеристики. Вместо каналов в керне делают щели в цилиндрическом магнитопроводе или он выполняется из отдельных стержней.

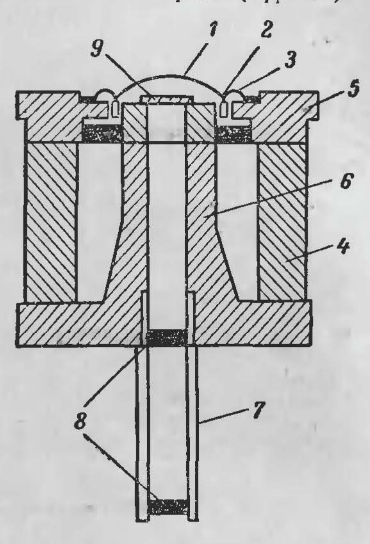


Рис. 8. Схематическое устройство кардиоидного микрофона МД-44.

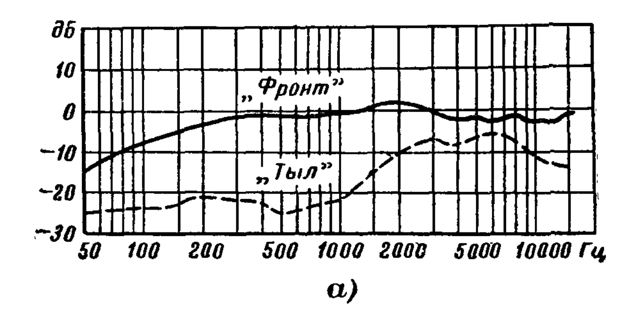
1 — диафрагма; *2* — звуковая катушка; *3* — гофрированный воротник; *4* — кольцевой магнит; *5* — передний фланец; *6* — задний фланец с керном; *7* — трубочка; *8* — перегородки; *9* — слой капронового шелка.

Многое зависит и от материалов, используемых в качестве элементов акустического сопротивления.

Весьма удобны в эксплуатации микрофоны с дистанционно регулируемой характеристикой направленности, которую можно осуществить, применяя два одинаковых по чувствительности и другим параметрам катушечных кардиоидных микрофона, расположенных в единой конструкции очень близко один над другим, причем их диафрагмы (звукоприемники) должны быть направлены в разные стороны, а акустические оси — параллельны. Соединяя звуковые катушки микрофонов синфазно, получаем круговую характеристику направленности, а противофазно — косинусоидальную («восьмерку»). Для получения кардиоидной характеристики используют только один микрофон, второй отключается. Изменение характеристик осуществляют специальным переключателем, к которому подводят цепи от обоих микрофонов.

На рис. 10 приведена электрическая схема универсального микрофона МД-69, состоящего из двух капсюлей: M_1 и M_2, укрепленных, как указано выше, и составляющих основную конструкцию микрофона (очерчено пунктиром слева). Капсюли со всех сторон закрыты металлической сеткой (верхняя часть кожуха), с внутрен-

ней стороны которой наклеена ткань (для предохранения от пыли). Переключатель характеристик направленности $П_1$ и корректор низших частот $П_2$ размещены в отдельном корпусе. Соединение с микрофонами осуществляется четырехжильным, экранированным кабе-



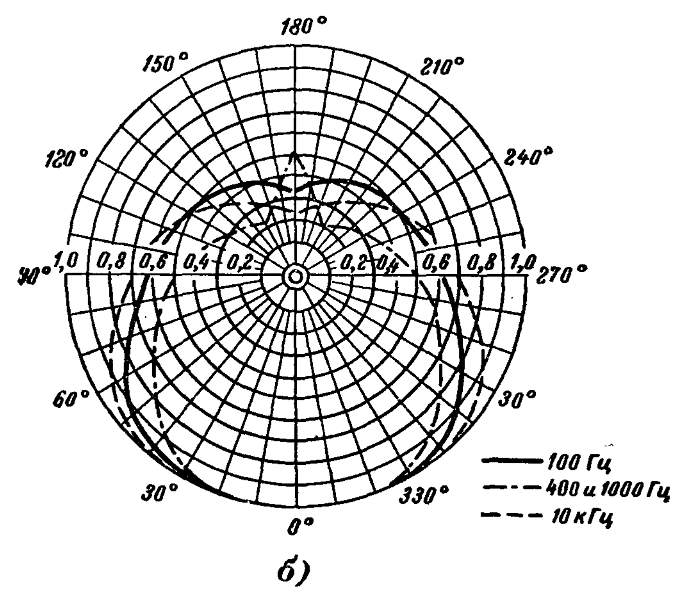


Рис. 9. Кардиоидный микрофон МД-44.

а — частотная характеристика чувствительности; *б* — характеристики направленности.

лем длиной около 10 м. Имеющиеся на входе цепочки C_1, L_1, R_1 и C_2, L_2, R_2 корректируют частотную характеристику микрофона в области 1—2 кГц. В положении *I* (показано на схеме) включается только капсюль M_1 (кардиоидная характеристика направленности),

максимум чувствительности — с фронтальной стороны; в положении *II* капсюли M_1 и M_2 включены противофазно (косинусоидальная характеристика направленности — «восьмерка»); в положении *III* — включение становится синфазным (круговая характеристика); в по-

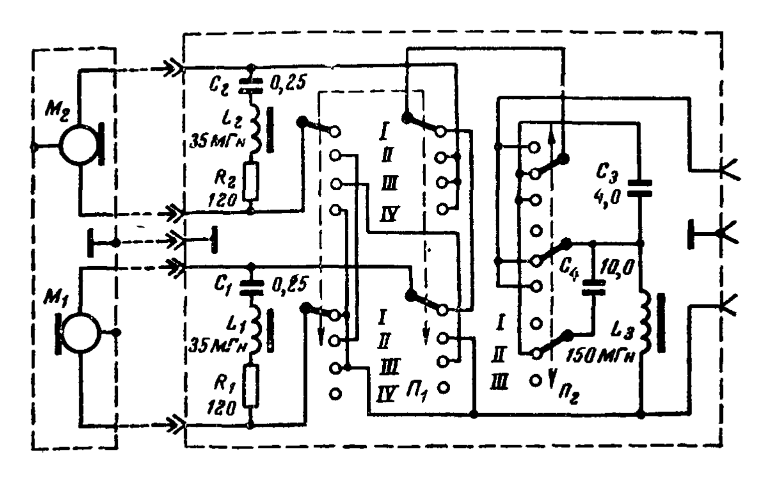


Рис. 10. Электрическая схема комбинированного микрофона МД-69 с частотными корректорами и переключателем характеристик направленности.

ложении *IV* включен только капсюль M_2 (кардиоидная характеристика), максимум чувствительности с тыльной стороны. Для различения «фронта» и «тыла» фронтальную сторону микрофона делают светлой, а тыльную — тёмной.

Корректором низших частот $П_2$ можно снизить чувствительность микрофона при 50 Гц на 12 дБ (положение *III*) и 6 дБ (положение *II*), для чего используется фильтр верхних частот, состоящий из дросселя L_3 и конденсаторов C_3 и C_4. В положении *I* фильтр отключается.

К конструкции переключателя $П_1$ предъявляются очень жесткие требования. Он должен обеспечивать надежную коммутацию цепей при весьма малых уровнях сигнала (без щелчков или шорохов), чтобы переключение характеристик направленности можно было осуществлять даже во время передач или записей.

Внешний вид микрофона МД-69 на высокой стойке с соединительными кабелями и переключателем характеристик направленности показан на рис. 11. Габариты собственно микрофона 110×70×40 мм, корпуса с переключателем направленности и корректором низших частот 140×72×80 мм, массы — соответственно 380 и 615 г.

Выше были описаны условия формирования частотной характеристики чувствительности микрофонов и отмечалась необходимость ряда компромиссных решений. Все же создать достаточно чувствительный и широкополосный микрофон с малой неравномерностью

частотной характеристики чувствительности, а также мало зависящей от частоты характеристикой направленности — задача весьма трудная. Одно из возможных решений было осуществлено австрийской фирмой AKG, разработавшей несколько типов высококачественных микрофонов, состоящих из двух отдельных капсюлей, один из которых действует в области низших частот (до 400 Гц), а другой — в области средних и высших частот (400 Гц и выше). Оба капсюля оформлены в единой конструкции и электрически соединены между собой через разделительные фильтры, подобные применяемым в двухполосных громкоговорителях.

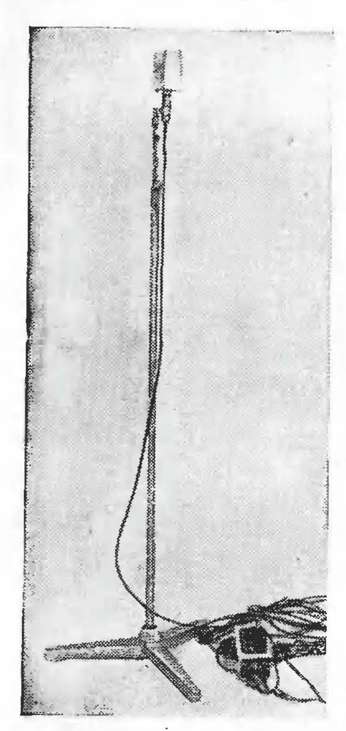


Рис. 11. Микрофон МД-69 на напольной стойке с переключателем характеристик направленности и соединительными кабелями.

Это позволило увеличить размеры низкочастотного капсюля и удлинило путь звуковой волны к обратной стороне диафрагмы до 280 мм, что увеличило сдвиг фаз между звуковыми давлениями спереди и сзади диафрагмы и сузило диаграмму направленности микрофона на низших частотах. Была также снижена резонансная частота подвижной системы низкочастотного капсюля со 150 до 45 Гц, что уменьшило неравномерность частотной характеристики чувствительности капсюля в диапазоне от 30 до 800 Гц. Высокочастотный капсюль, наоборот, был уменьшен, что также позволило улучшить его частотную характеристику чувствительности и характеристику направленности и сделало его более эффективным в отведенной ему полосе частот. На рис. 12, *а* приводится частотная характеристика, а на рис. 12, *б* — электрическая схема двухполосного микрофона типа D-202, имеющего спереди, вблизи защитной сетки, небольшой высокочастотный капсюль $M_в$. Непосредственно позади него соосно располагается низкочастотный капсюль $M_н$ большего размера. Разделение полос на частоте 400 Гц осуществляется фильтром C_1, C_2, L_2; катушка L_1, расположенная между капсюлями, включена с целью компенсировать помехи от внешних электрических полей. Дроссель L_3 служит для снижения чувствительности микрофона на низших частотах до —20 дБ (на 50 Гц), плавная регулировка которой осуществляется переменным резистором R_1; кнопкой *Вк* микрофон выключается. Все детали размещены в металлическом корпусе диаметром 31 и длиной 210 мм. Диаметр микрофона 51 мм, масса 300 г.

Корпус или кожух предохраняет капсюль микрофона с весьма хрупкой и нежной подвижной системой от повреждений при эксплуатации, пыли, влаги и других вредных воздействий внешней сре-

ды. Наиболее слабое место капсюля — узкий кольцевой зазор в магнитной системе, где находится звуковая катушка и куда притягиваются стальные частицы. При разработке внешнего оформления микрофона учитывают и эстетические требования.

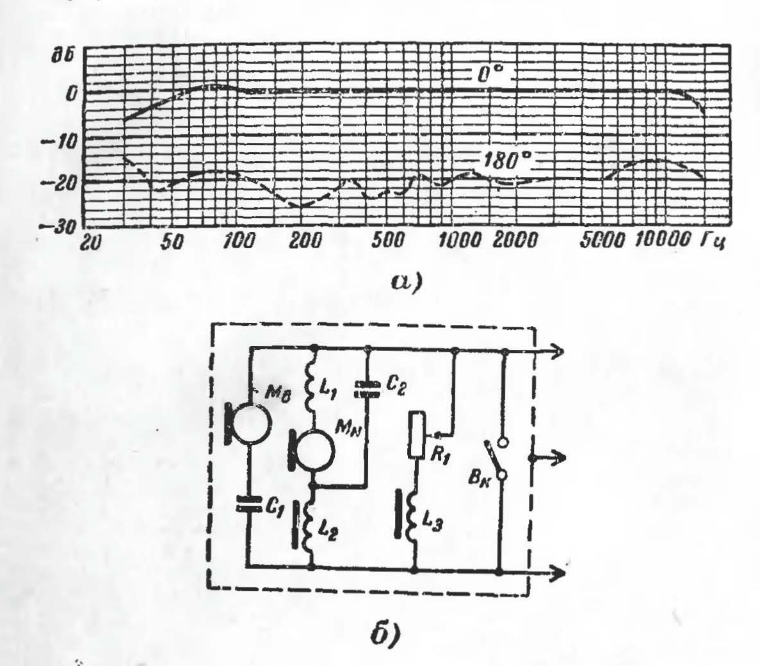


Рис. 12. Двухполосный кардиоидный катушечный микрофон D-202 фирмы AKG.

а — частотная характеристика чувствительности; *б* — электрическая схема.

Корпус микрофона чаще всего выполняют из стали и отделывают разнообразными противокоррозийными покрытиями (лаком, эмалью, электрохимическими покрытиями). Реже применяют цветные металлы. Корпуса наиболее дешевых микрофонов, предназначенных для любительских и бытовых целей, делают из пластмасс (рис. 13).

Корпус ненаправленного микрофона имеет вид сплошного цилиндра или усеченного (закругленного) конуса; спереди (с торца) вставляется сетка или решетка, за которой располагается диафрагма, с другой стороны выходит соединительный кабель (см. рис. 7). Ненаправленные микрофоны, например широко распространенный микрофон МД-47 (рис. 13), имеют плоский корпус. Для доступа звуковой волны к обратной стороне диафрагмы в корпусе направленных микрофонов делают небольшие круглые или продолговатые отверстия. Они могут находиться как сзади, что сделано, например,

в микрофоне МД-44 (см. рис. 8), так и в передней части корпуса, у микрофона 82А5М (рис. 14).

Чтобы ослабить влияние корпуса микрофона на его частотную характеристику, т. е. уменьшить эффект дифракции, переднюю часть корпуса выполняют из сетки, которая не отражает звуковые волны и является акустически прозрачной. Такое внешнее оформление широко применяется в импортных микрофонах (рис. 15); при этом передняя (звукопрозрачная) часть может быть большего диаметра (рис. 15, *а* и *б*). Конструкция корпуса, показанная на рис. 15, *в*, целиком выполнена из сетки. Сетка сплетена из стальной проволоки и служит электрическим и магнитным экраном. Часто применяют два слоя сетки с разными ячейками. Изнутри (или между сетками) прокладывают 2—3 слоя тонкого шелка или другой подобной ткани. Ткань предохраняет капсюль от попадания в него мелких частиц и пыли и служит защитой от сильных потоков воздуха (ветра).

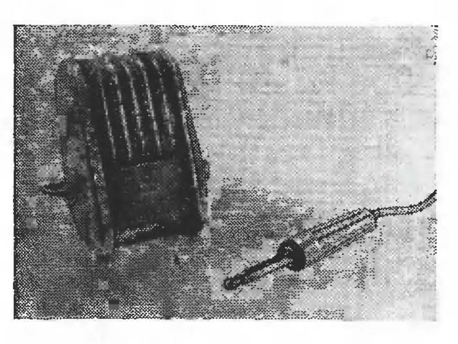


Рис. 13. Ненаправленный катушечный микрофон МД-47 для любительской звукозаписи.

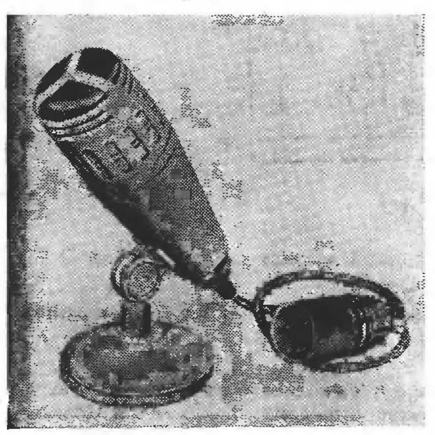


Рис. 14. Кардиоидный катушечный микрофон 82А5М.

Нередко, особенно в микрофонах для любительских целей, применяют выходной трансформатор или автотрансформатор. Их использование позволяет повысить чувствительность микрофона, когда его подключают к усилителю с большим входным сопротивлением. Автотрансформатор предпочтительнее, так как тогда можно получить в единой схеме малое и большое выходные сопротивления. В настоящее время приняты следующие буквенные обозначения вида схемы, выхода и величины выходного сопротивления микрофона: *N* — симметричный низкоомный выход с сопротивлением не более 600 Ом; *L* — несимметричный низкоомный выход; *М* — несимметричный выход со средней величиной сопротивления от 0,8 до 2 кОм; *Н* — несимметричный выход с большой величиной сопротивления (от 20 до 100 кОм). Схемы присоединения указанных видов микрофонов к стандартному разъему СГ-3 или СГ-5 (по ГОСТ 12368-66) приведены на рис. 16.

В микрофонах высшего класса (особенно импортных) часто имеется переключатель «речь—музыка». В положении «речь» параллельно выходу включается дроссель, индуктивное сопротивление которого шунтирует звуковую катушку так, чтобы на частоте 50 Гц снизить чувствительность на 10—20 дБ. Спад начинается с частот 300—500 Гц и составляет примерно 6 дБ на октаву. Снижение чувствительности на низших частотах может осуществляться ступенями: чаще двумя (—6 и —12 дБ), для чего в дросселе делают отвод или последовательно с ним включают резисторы разной величины. Для плавного снижения чувствительности включают переменный резистор (R_1 на схеме на рис. 12). Можно применить емкости Они вместе с дросселем образуют фильтр.

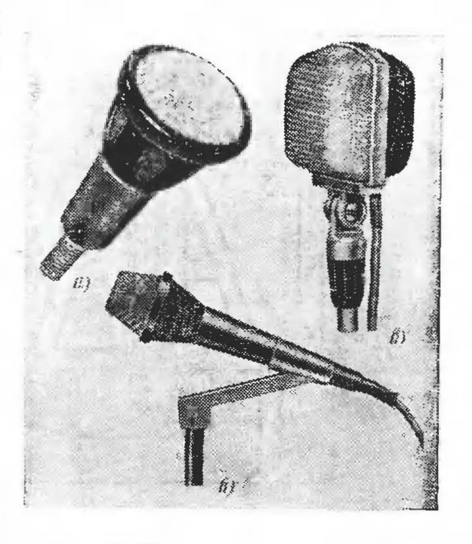


Рис. 15. Кардиоидные катушечные микрофоны венгерского производства.

а — МД-14; *б* — МД-21; *в* — МД-15

Так, например, сделано в микрофоне МД-69 (см. рис. 10).

Снижение чувствительности на низших частотах позволяет повысить разборчивость речи, особенно при ее передаче из помещений с чрезмерно большим временем реверберации.

В конструкцию микрофонов для любительских записей и репортажей, иногда вводят выключатель, контакты которого служат для дистанционного включения магнитофона.

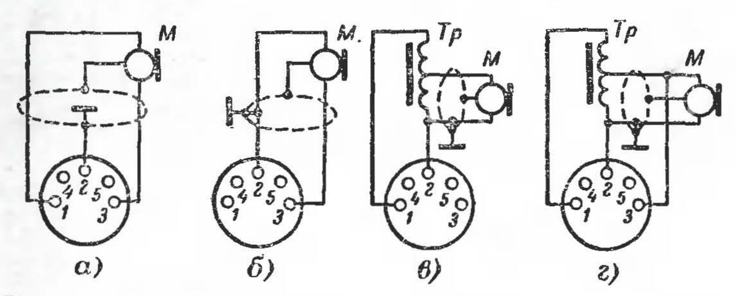


Рис. 16. Схемы соединения микрофона с кабелем и пятиштырьковым стандартным разъемом типа СГ-5.

а — симметричная низкоомная; *б* — асимметричная низкоомная; *в* — с выходным автотрансформатором; *г* — комбинированная (*1—2* — для высокоомного выхода; *2—3* — для низкоомного).

Основные электроакустические и конструктивные данные катушечных микрофонов, а также сфера их применения указаны в приложениях I и II.

Ленточные микрофоны. Конструкция ленточных микрофонов, появившихся в 1924 г., значительно отличается от конструкции катушечных микрофонов, несмотря на одинаковый принцип действия. Основное конструктивное различие определяется тем, что зазор магнитной системы делается не кольцевым, а линейным, и проводник выполняют не в виде катушки, а в виде очень тонкой (2 мкм)

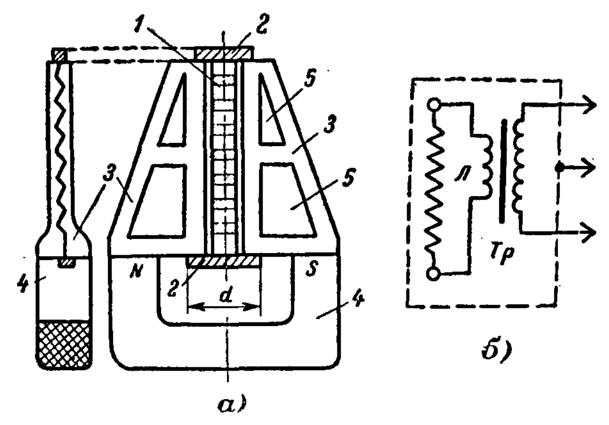


Рис. 17. Ленточный микрофон.

а — устройство; *б* — электрическая схема; *1* — гофрированная ленточка (*Л*); *2* — изолирующие перемычки; *3* — полюсные наконечники; *4* — магнит; *5* — сквозные отверстия в полюсных наконечниках; *Тр* — выходной трансформатор (n=30÷50).

алюминиевой гофрированной ленточки шириной 2—2,5 и длиной 20—30 мм. Ленточка одновременно служит и звукоприемником (диафрагмой), и проводником, в котором индуцируется э. д. с.

Параметры ленточных микрофонов примерно одинаковы с параметрами катушечных микрофонов, но частотная характеристика чувствительности ленточного микрофона имеет тенденцию к подъему в области низших частот. Эта способность связана как с низкой собственной резонансной частотой ленточки, так и с особенностью работы приемников градиента давления, к которым относятся наиболее простые ленточные микрофоны с открытой с обеих сторон ленточкой. Малая масса ленточки способствует значительному ослаблению искажений, связанных с переходными процессами, а ее конфигурация и положение в магнитном зазоре обеспечивают и минимальные нелинейные искажения. Все эти факторы приводят к особо естественному и мягкому звучанию передач при использовании ленточных микрофонов. Поэтому они, несмотря на громоздкость, меньшую надежность, бóльшую чувствительность к толчкам, вибрациям, электромагнитным полям и медленным потокам воздуха, широко применяются в студиях и концертных залах.

Схематическое устройство ленточного микрофона, в котором простейшая подвижная система — ленточка открыта с обеих сто-

рон, показана на рис. 17. Гофрированная ленточка из алюминиевой фольги 1 подвешена на изолирующих перемычках в зазоре между полюсными наконечниками 3 сильного магнита 4. Звуковая волна воздействует на обе стороны ленточки. Для уменьшения длины пути звуковой волны от передней поверхности ленточки к задней в полюсных наконечниках 3 сделаны отверстия 5.

В результате движения ленточки в магнитном поле в ней возникает э. д. с. Малое электрическое сопротивление ленточки (0,25—0,5 Ом) приводится к номинальному (обычно 250 Ом) выходным повышающим трансформатором (одновременно повышается и э. д. с.). Трансформатор *Тр* располагается под магнитной системой и входит в конструкцию микрофона.

Ранее было показано, что сила, действующая на диафрагму, открытую с обеих сторон, в общем виде определяется формулой

$$F = \frac{2\pi}{\lambda} Spd \cos\theta.$$

Для описанной конструкции S — площадь ленточки; d — кратчайшее расстояние от одной стороны ленточки до другой, равное общей ширине зазора и части полюсных наконечников; θ — угол, определяющий направление звуковой волны.

Если микрофон находится в поле плоской волны, а длины звуковых волн ($\lambda = c/f$) больше расстояния d, то величину силы F можно определить по формуле

$$F = Spd \frac{\omega}{c} \cos\theta,$$

где p — действующее звуковое давление; $\omega = 2\pi f$ — угловая частота; c — скорость звука.

Подставив теперь значение F в известную формулу для определения э. д. с. индукции ($E_0 = BlF/z_м$), можно выразить чувствительность ленточного микрофона-приемника градиента давления в режиме холостого хода формулой

$$e = \frac{E_0}{p} = Bl \frac{Sd}{c} \cdot \frac{\omega}{z_м} \cos\theta,$$

где составляющая $BlSd/c$ не зависит от частоты, а направленные свойства определяются функцией $\cos\theta$, что характерно для микрофонов-приемников градиента давления. Чувствительность таких микрофонов определяется отношением $\omega/z_м$, и если значение $z_м$ изменяется пропорционально частоте, то чувствительность не будет зависеть от частоты. Этому условию удовлетворяет подвижная система, собственная резонансная частота которой меньше нижней граничной частоты номинального диапазона. Ленточка ввиду большой гибкости имеет собственную резонансную частоту не более 15—20 Гц, поэтому заданное условие выполняется.

Однако в действительности на низших частотах у ленточных микрофонов наблюдается заметный подъем чувствительности, обусловленный увеличением градиента давления, так как с уменьшением частоты структура поля все более приближается к полю шаровой волны. На рис. 18 приводится семейство частотных характерис-

тик чувствительности. Из него виден рост чувствительности с уменьшением частоты и расстояния между источником звука и микрофоном.

На высших частотах спад чувствительности наступает, когда ширина полюсных наконечников d (см. рис. 17) приближается к длине звуковой волны. Практически этот размер не должен быть больше половины минимальной длины волны, определяемой высшей граничной частотой номинального диапазона.

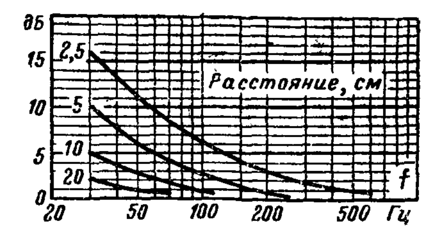
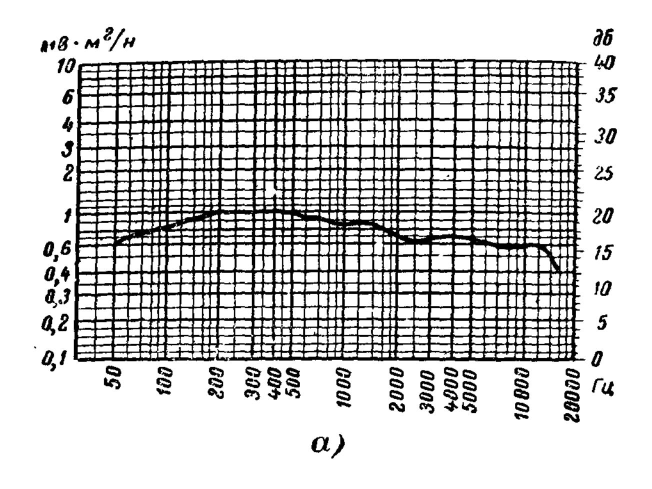


Рис. 18. График, характеризующий увеличение чувствительности на низших частотах, наблюдаемое у микрофонов-приемников градиента давления при небольших расстояниях между микрофоном и источником звука.

Для достижения равномерной и достаточно широкополосной частотной характеристики чувствительности в ленточных микрофонах применяются корректирующие акустические устройства в виде дополнительных объемов, каналов и щелей. Однако простая подвижная система не дает таких возможностей, как подвижная система катушечных микрофонов. Большие размеры ленточных микрофонов усугубляют влияние дифракционных явлений на ход частотной характеристики чувствительности, а также приводят к некоторому обострению характеристик направленности с ростом частоты.

Для примера на рис. 19 приведены типовая частотная характеристика чувствительности и характеристики направленности на разных частотах наиболее распространенного ленточного микрофона МЛ-16. Внешний вид микрофона МЛ-16 показан на рис. 20. Микрофоны этого типа применяются в студиях и концертных залах, когда необходимо иметь двустороннюю направленность. При использовании такого микрофона для передачи речи следует учитывать увеличение чувствительности в поле шаровой волны и не размещать исполнителей и дикторов близко к микрофону. Уже при расстоянии менее 0,3 м заметный подъем частотной характеристики чувствительности на частотах ниже 150—170 Гц придает звучанию (особенно речи) неприятный и неестественный «бочковатый» тембр и снижает разборчивость. Для устранения этих искажений применяют схемы электрической коррекции (фильтр высших частот или параллельно включенный дроссель).

Наряду с ленточным микрофоном-приемником градиента давления имеются и комбинированные ленточные микрофоны с кардиоидной характеристикой направленности. Наиболее простой способ создания такого микрофона заключается в электрическом соединении ленточного микрофона-приемника градиента давления и катушечного микрофона-приемника давления (микрофоны типов 10А-1 и МДЛ). Такой способ позволил весьма просто изменять характеристики направленности. Если включить только катушечный микрофон, то будет круговая характеристика; с одним ленточным микрофоном характеристика будет в виде «восьмерки», а если оба микрофона соединить последовательно, то при соответствующих фазировке и подборе чув-



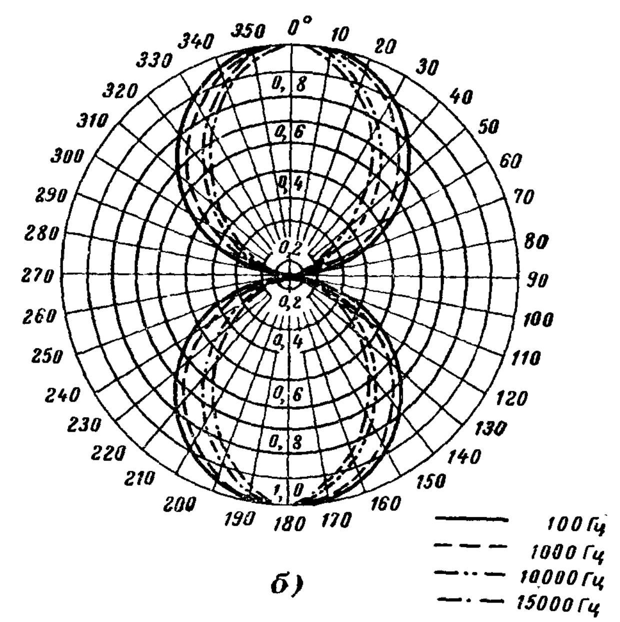


Рис. 19. Ленточный микрофон МЛ-16.

а — частотная характеристика чувствительности; *б* — характеристики направленности.

ствительности микрофонов получится кардиоидная характеристика. Формирование такой характеристики направленности двумя указанными микрофонами было показано на рис. 3.

В более современных микрофонах комбинирование приемников давления и градиента давления осуществляется акустическим путем в одном микрофоне (капсюле), в магнитной системе которого размещают две ленточки.

Схематическое устройство такого микрофона показано на рис. 21, *а*, на котором в магнитном зазоре видны две ленточки: *1* и *2*, механически и электрически разделенные изоляционной перемычкой *3*. Обратная (тыльная) сторона верхней ленточки закрыта акустическим лабиринтом *4*, представляющим собой некоторый объем, переходящий затем в длинную трубочку, свернутую для сокращения габаритов в спираль.

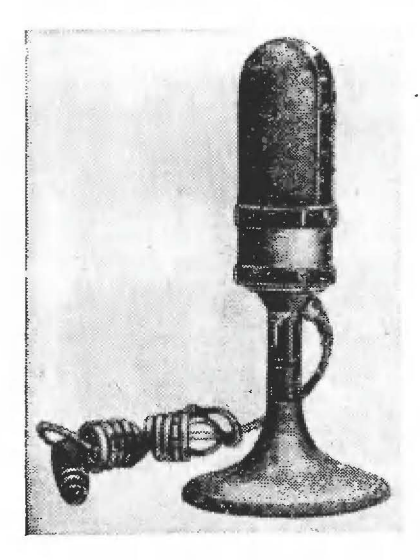


Рис. 20. Микрофон МЛ-16 на настольной стойке.

Резонансные явления внутри этого лабиринта устраняются звукопоглощающим материалом, например комочками стеклянной ваты, шерстяных или шелковых ниток и т. п. Верхняя ленточка работает как приемник давления, а нижняя — как приемник градиента давления.

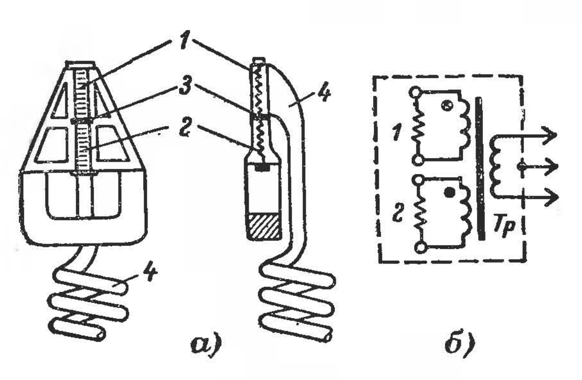


Рис. 21. Ленточный комбинированный кардиоидный микрофон.

а — устройство; *б* — электрическая схема; *1* — верхняя ленточка; *2* — нижняя ленточка; *3* — перемычка, разделяющая ленточки; *4* — акустический лабиринт.

В результате сложения э. д. с. характеристика направленности примет вид кардиоиды. Сложение э. д. с. осуществляется в трансформаторе *Тр* (рис. 21, *б*). Подбором числа витков в обмотках, к которым подключаются ленточки, устанавливаются такие чувствительности обеих частей микрофона, чтобы характеристика направленности была нужной формы (для получения кардиоиды чувствительности должны быть одинаковыми).

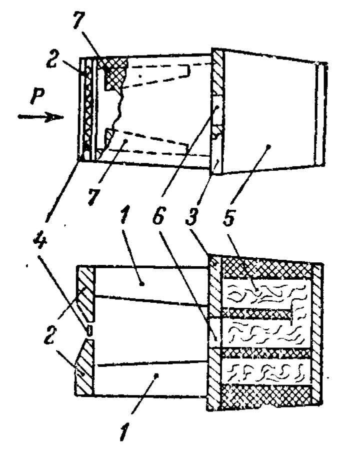


Рис. 22. Устройство ленточного кардиоидного микрофона МЛ-19.

1 — постоянные магниты; *2* — полюсные наконечники; *3*—нижний фланец; *4* — ленточка; *5* — лабиринт; *6* — отверстие лабиринта; *7* — боковые стенки.

Известны конструкции ленточных микрофонов-приемников давления, у которых ленточка полностью закрыта сзади (нагружена) упомянутым выше акустическим лабиринтом. Однако подобные ненаправленные ленточные микрофоны из-за громоздкости и других специфических недостатков не смогли конкурировать с катушечными ненаправленными микрофонами, а потому не получили распространения.

Конструктивная особенность описанных ранее ленточных микрофонов заключается в том, что их рабочая (акустическая) ось оказывается перпендикулярной геометрической оси (оси симметрии): ленточка должна быть всегда вертикальной, чтобы не провисать. Но возможна и другая конструкция ленточного микрофона, у которого геометрическая ось совпадает с рабочей. По этому принципу разработан и с недавнего времени выпускается ленточный кардиоидный микрофон МЛ-19, схематическое устройство которого показано на рис. 22 (в двух проекциях). Магнитная системы микрофона состоит из постоянных магнитов *1*, полюсных наконечников *2*, между которыми (в зазоре) подвешена ленточка *4*, и нижнего фланца *3*. Сзади ленточки образуется внутренний объем, заключенный между поверхностями магнитов, фланцем и боковыми стенками *7*, заполненный звукопоглощающим материалом (листовым эластичным поропластом), который используется в качестве акустического сопротивления на пути звуковой волны к обратной стороне ленточки и образует один из элементов акустического фазовращателя. Второй элемент этой системы — лабиринт *5*; он сообщается с внутренним объемом через отверстие *6*. Лабиринт имеет объем 22 см^3 и разделен перегородками на каналы общей длиной 310 мм, которые заполнены звукопоглощающим материалом (так же как спиральная трубка на рис. 21). Для расширения номинального диапазона в области высших частот применяется акустическая коррекция, обеспечивающая в полосе 70—15 000 Гц неравномерность не более 10 дБ. Типовые частотные характеристики кардиоидного микрофона МЛ-19, снятые под углами 0 (фронтальная) и 180° (тыловая), показаны на рис. 23.

По ним можно судить о его направленности. Внешний вид микрофона МЛ-19, укрепленного на напольной стойке, дан на рис. 24.

Как видно, другое конструктивное построение магнитной системы (горизонтальное) изменяет внешний вид ленточного микрофона

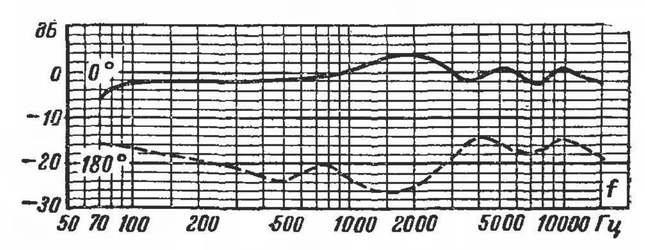


Рис. 23. Типовые частотные характеристики чувствительности микрофона МЛ-19 для углов приема 0 и 180°.

(сравните с рис. 20), но дает возможность примерно в 1,5 раза уменьшить размеры магнитной системы при сохранении нужной индукции в ее зазоре. Объясняется это тем, что такое расположение полюсных наконечников значительно уменьшает магнитное поле рассеяния, а, кроме того, индукция в зазоре равномерна по всей длине, чего не было при расположении магнитной системы в одну линию с ленточкой (вертикально).

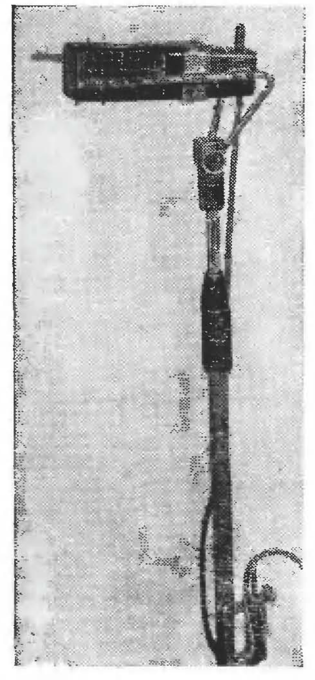


Рис. 24. Микрофон МЛ-19 с амортизатором на напольной стойке.

Ранее отмечалось, что ленточные микрофоны отличаются сравнительно большими габаритами по сравнению с катушечными. Специфичен их корпус, который обычно разделяется на две части; одна из них перфорированная или сетчатая, другая — сплошная.

В первой части расположена ленточка, а потому эту часть корпуса стремятся сделать акустически «прозрачной». В другой части размещают магнит, спиральную трубку (лабиринт) и выходной трансформатор. Корпус и сетка стальные и служат экраном для электромагнитных полей; кроме того, иногда для борьбы с помехами предусматриваются компенсационные катушки, включаемые в противофазе в выходной цепи. Внутри сетки прокладывается несколько слоев тонкой ткани, предохраняющей от пыли и сильных потоков воздуха. Если корпус перфорирован, то за ним укладывают металлическую сетку с мелкими ячейками.

При симметричной форме корпуса ленточного микрофона фронтальную сторону обычно окрашивают в светлый тон, а тыловую — в темный. Крепление к стойке или штативу часто дополняют противовибрационным и амортизирующим устройством.

Основные электроакустические параметры и конструктивные данные некоторых наиболее распространенных типов ленточных микрофонов указаны в приложении I.

КОНДЕНСАТОРНЫЕ МИКРОФОНЫ

По своим акустическим показателям конденсаторные микрофоны, первый из которых появился в 1917 г., во многих отношениях превосходят электродинамические (катушечные и ленточные) микрофоны, но они сложны в изготовлении и регулировке, дороги и потому менее распространены. Конденсаторные микрофоны используются преимущественно для профессиональных целей — в звуковом и телевизионном вещании, звукозаписи, а также в акустической измерительной аппаратуре.

Достоинствами конденсаторных микрофонов являются: высокая чувствительность, широкополосная и гладкая частотная характеристика чувствительности, хорошая переходная характеристика, выражающая способность верно воспроизводить импульсные звуки. Длительность нарастания напряжения составляет в конденсаторном микрофоне приблизительно 7—10 мкс. К этому можно добавить еще возможность сравнительно просто и даже дистанционно изменять в широких пределах характеристику направленности конденсаторного микрофона.

Применение в усилителях конденсаторных микрофонов транзисторов (в частности, полевых) и электретной полимерной пленки для диафрагм привело к значительному упрощению и удешевлению микрофонов при сохранении высоких качественных показателей. Поэтому можно ожидать, что в ближайшие годы область применения конденсаторных микрофонов значительно расширится.

Конденсаторный микрофон состоит из двух частей: звукоприемного капсюля и низкочастотного усилительно-питающего устройства или высокочастотного усилительно-преобразующего устройства; последнее применяется значительно реже низкочастотного.

Звукоприемный капсюль конденсаторного микрофона, имеющий диаметр от 2 до 35 мм, представляет собой плоский воздушный конденсатор, подвижная обкладка которого служит диафрагмой (мембраной), воспринимающей звуковые колебания. Диафрагму делают из очень тонкой (2—30 мкм) фольги нержавеющей стали, никеля, инвара (сплав никеля с железом), титана, твердых сплавов алюминия или очень тонкой (3—6 мкм) полимерной пленки (полиэтилентерефталат, полиэфир), которая специально обрабатывается для старения и покрывается (металлизируется) с одной стороны оптически прозрачным слоем золота способом вакуумного испарения. В последних образцах капсюлей с диафрагмой из инвара для уменьшения ее изгибной жесткости и устранения влияния структуры материала, ориентированной в направлении проката, фольга предварительно подвергается неглубокому (около 5 мкм) тиснению. Диафрагма по окружности закрепляется клеем или кольцом и винтами, по краю же осуществляется ее контакт с корпусом.

В первых конструкциях капсюлей металлическая диафрагма растягивалась по краю специальным кольцом для повышения резонансной частоты (последняя определяет верхнюю границу частотной характеристики чувствительности микрофона). Однако, как было установлено позже, достаточно высокая резонансная частота получается и без растяжения диафрагмы, а только за счет упругости воздушного слоя, находящегося между нею и второй обкладкой.

Вторая довольно массивная обкладка этого воздушного конденсатора, иногда называемая базой, является неподвижным электродом. Расстояние между обкладками составляет 20—40 мкм. Базу и остальные металлические части капсюля иногда делают из того же материала, что и диафрагму (для повышения температурной стабильности капсюля), а изолирующие детали — из кварца. В последнее время базу стали делать из радиокерамики, а иногда из стеклопластика. Поверхность такой базы, обращенная к диафрагме, металлизируется путем вожжения золота или серебра; база имеет отверстия, расположенные равномерно под диафрагмой. Эти отверстия, как и дополнительное акустическое сопротивление (шелковая ткань, закрывающая отверстия), применяемое в некоторых капсюлях, определяют величину демпфирования диафрагмы и, следовательно, частотную характеристику капсюля. Металлизированная поверхность базы в некоторых последних моделях микрофонов покрывается изолирующим слоем окиси кремния толщиной около 3 мкм, обладающей электрической пробивной прочностью около 150 В. Этот слой предохраняет капсюль от короткого замыкания и повышает сопротивление изоляции капсюля, которое должно быть не менее 10^7 МОм во избежание шума, создаваемого током утечки. Описанный капсюль имеет емкость в несколько десятков пикофарад. Она зависит от диаметра капсюля и толщины воздушного промежутка между мембраной и базой.

Как было указано ранее, характеристика направленности микрофона определяется конструкцией капсюля, т. е. возможностью воздействия звуковой волны только на одну или обе стороны диафрагмы. В капсюле, обладающем направленностью, звуковая волна действует на обе стороны диафрагмы, причем длина пути волны к задней стороне определяет ее запаздывание (задержку) и изменение фазы. Для этого в базе некоторых капсюлей, например конденсаторного микрофона 19А-21, делают сквозные отверстия резко изменяющегося сечения и добавляют вторую, тыловую диафрагму, которая не металлизируется. В других конструкциях однонаправленных капсюлей используют только одну диафрагму и акустический фильтр (фазовращатель), находящийся в базе. Фильтр представляет собой металлокерамический блок из мелких шариков (чаще из нержавеющей стали), заделанный в кольцевую установочную оправку из пластмассы. Узкие щели (проходы) между шариками и большие полости в таком фильтре являются акустическими сопротивлениями, обеспечивающими необходимую задержку звуковой волны, следующей к задней стороне диафрагмы. В капсюле ненаправленного микрофона задняя сторона диафрагмы изолирована от внешней среды корпусом, поэтому для устранения влияния изменений атмосферного давления на ее положение и величины воздушного зазора между нею и базой объем воздуха, находящийся под диафрагмой, соединяют капиллярной трубкой с окружающей воздушной средой и уравнивают этим давления по обе стороны.

На рис. 25 показан разрез капсюля конденсаторного микрофона с керамической базой. На рис. 26 показан разрез капсюля одной из последних моделей однонаправленного микрофона СК-1 фирмы AKG. Диаметр этого капсюля 18 мм, емкость 27 пФ, диапазон частот 30—16 000 Гц, чувствительность 10 мВ·м²/Н при поляризующем напряжении 60 В.

В отличие от капсюлей большинства других типов микрофонов капсюль конденсаторного микрофона не может быть непосредственно прямо присоединен к усилителю, поскольку он преобразует изменения звукового давления в изменения емкости. Последние необходимо превратить в изменения электрического напряжения или тока. Это может быть достигнуто с помощью низкочастотной или высокочастотной схемы включения.

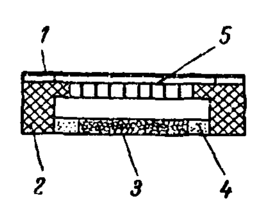


Рис. 25. Схематический разрез капсюля конденсаторного микрофона.

1 — мембрана из инвара; 2 — корпус из керамики; 3 — металлокерамический фильтр; 4 — изолирующее кольцо; 5 — слой золота.

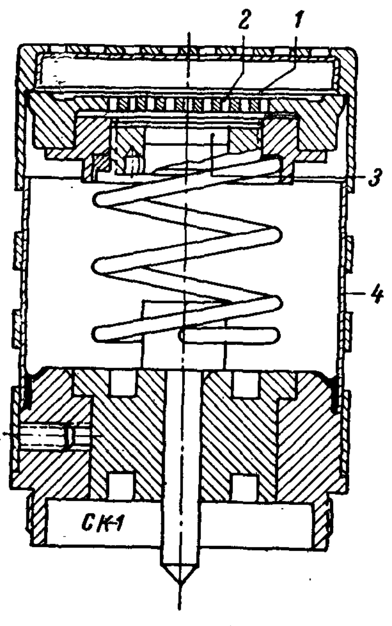


Рис. 26. Капсюль СК-1 однонаправленного микрофона в разрезе.

1 — диафрагма; 2 — база; 3 — фильтр; 4 — отверстия, закрытые шелковой тканью.

Наибольшее распространение получила низкочастотная схема включения капсюля В этой схеме капсюль конденсаторного микрофона M включается в схему (рис. 27, *а*) последовательно с нагрузочным резистором $R_н$ и источником постоянного (поляризующего) напряжения. Наличие этого напряжения создает постоянную силу притяжения между диафрагмой и базой, и в результате этого притяжения воздушный промежуток между ними в центре несколько меньше, чем на краю.

Принцип действия конденсаторного микрофона с такой схемой включения капсюля заключается в том, что когда под действием звуковой волны диафрагма колеблется, изменяется емкость капсюля.

Величина заряда Q связана с емкостью конденсатора C и постоянным напряжением на нем U соотношением

$$Q = CU.$$

При возрастании емкости конденсатор дополнительно заряжается, поэтому в цепи конденсатора возникает ток заряда; при уменьшении емкости конденсатор разряжается, возникает ток разряда. Вследствие этого в цепи протекает переменный ток, создающий на резисторе нагрузки $R_н$ переменное напряжение, пропорциональное звуковому давлению на диафрагму капсюля. Это напряжение

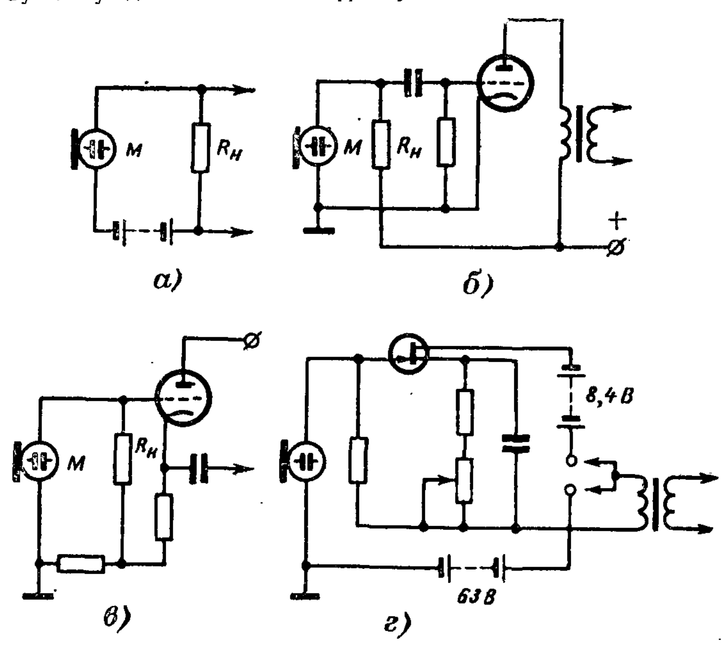


Рис. 27. Низкочастотные схемы включения конденсаторных микрофонов.

а — принципиальная схема включения капсюля; *б* — ламповый каскад с трансформаторным выходом; *в* — катодный повторитель; *г* — согласующий каскад с полевым транзистором.

(э. д. с.) может быть выражено для ненагруженного капсюля формулой

$$e = dU/D,$$

где d — смещение диафрагмы, вызванное звуковым давлением; U — поляризующее напряжение; D — расстояние между диафрагмой и базой (в отсутствие звука).

Из этой формулы видно, что создаваемое капсюлем напряжение пропорционально величине поляризующего напряжения; последнее, однако, лимитируется либо пробоем воздушного промежутка

между диафрагмой и базой, либо силой притяжения между ними, которая может вызвать залипание диафрагмы. При промежутке 25 мкм максимально допустимое напряжение составляет около 250 В. Поскольку чувствительность микрофона представляет собой отношение создаваемого напряжения к звуковому давлению (p), поделив на эту величину обе части формулы, получим выражение для чувствительности конденсаторного микрофона:

$$E = \frac{dU}{pD} = \frac{\frac{d}{p}U}{D},$$

т. е. чувствительность микрофона, кроме величины поляризующего напряжения, пропорциональна смещению диафрагмы при данном звуковом давлении, или ее гибкости (податливости). Когда в реальных условиях капсюль конденсаторного микрофона нагружен, чтобы из-за малой емкости капсюля, включенного последовательно с нагрузкой, чувствительность микрофона не снижалась даже на самых низких частотах (20—50 Гц), при которых емкостное сопротивление капсюля наибольшее, сопротивление резистора нагрузки должно быть очень высоким: более 100 МОм.

Частота, при которой из-за нагрузки чувствительность капсюля уменьшится на 3 дБ, может быть определена из выражения

$$f_{н.ч} = \frac{10^{12}}{2\pi R_н (C_к + C_{вх})}, \text{ Гц},$$

где $R_н$ — сопротивление резистора нагрузки, Ом; $C_к$ — емкость капсюля, пФ; $C_{вх}$ — входная емкость схемы, включающая емкость проводов, соединяющих капсюль со схемой, пФ.

Ниже этой частоты чувствительность капсюля падает немногим более 6 дБ на октаву.

При малой емкости капсюля и большом сопротивлении нагрузки исключается обычное присоединение микрофона к питающему устройству даже сравнительно коротким кабелем (1,5—2 м), так как емкость соединительного кабеля образует с емкостью капсюля делитель напряжения $C_к/(C_к+C_{вх})$. При этом резко падает чувствительность микрофона и соответственно возрастает уровень собственно шума и наводимых помех. Поэтому в конструкцию конденсаторного микрофона всегда входит согласующий каскад, расположенный рядом с капсюлем и выполняющий роль преобразователя сопротивления. В этом каскаде используют либо электронную лампу (рис. 27, *б* и *в*), либо полевой транзистор (рис. 27, *г*). Электронная лампа, используемая в этом каскаде, должна обладать малым уровнем шума и быть стабильной по своим параметрам, особенно по величине сеточного тока. К таким лампам относятся: 6С6Е, 6С31Б, 6Ж1ПЕ, АС-701. Требования малого уровня шума и высокого входного сопротивления долго ограничивали возможность применения транзисторов во входном каскаде. Только появление полевых транзисторов, обладающих низким уровнем шума, очень высоким входным сопротивлением и скромными требованиями к питанию, а также миниатюрностью, позволило ввести в конденсаторный микрофон транзисторный усилитель. В связи с наличием усилительного каскада и необходимостью питания этого каскада и подачи на капсюль поляризующего напряжения в комплект конденсаторного микрофона всегда входит питающее устройство.

При включении в низкочастотную схему капсюля с двумя диафрагмами можно дистанционно изменять характеристику направленности. Для этой цели изменяют величину поляризующего напряжения. Схема микрофона КМ-55А с такой регулировкой показана на

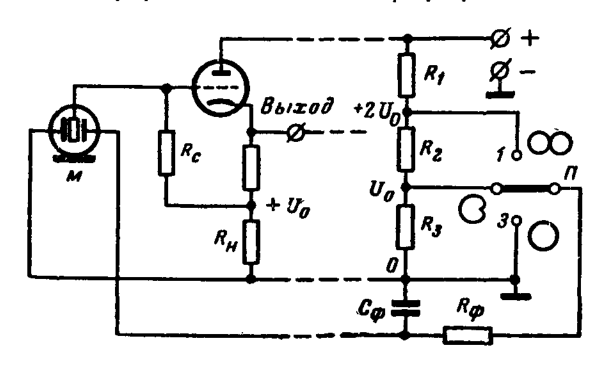


Рис. 28. Электрическая схема микрофона КМ-55А.

рис. 28. Когда *П* установлен в положении, указанном на схеме, правая на схеме половина капсюля *М* не получает поляризующего напряжения (по отношению к неподвижному электроду) и не действует; микрофон при этом обладает кардиоидной характеристикой. Когда на обе половины капсюля подается одинаковое поляризующее напряжение (переключатель в положении *3*), происходит сложение двух кардиоид, повернутых на 180°; в этом случае микрофон имеет ненаправленную характеристику (круг). При перемене полярности напряжения (переключатель в положении *1*) происходит вычитание двух кардиоид, в результате чего характеристика направленности микрофона получается в виде «восьмерки» (двунаправленная).

Наряду с такой регулировкой характеристики направленности конденсаторного микрофона существует способ регулировки характеристики направленности комбинированием напряжений от сдвоенного капсюля; такой способ использован в студийном микрофоне 19А-10, входящем в комплект КМС-3, который позволяет получить восемь видов характеристик направленности: круг, восьмерку, кардиоиду, суперкардиоиду и гиперкардиоиду (последние три характеристики дублируются поворотом оси максимальной чувствительности на 180°). Эти характеристики переключаются дистанционно путем коммутации вторичных обмоток трансформаторов. Как видно из схемы микрофона 19А-10 (рис. 29), он содержит двусторонний капсюль, каждая сторона которого имеет свой согласующий каскад, использующий лампу типа 6С6Б. Каждая сторона капсюля обладает однонаправленной характеристикой и идентична другой стороне, а акустические оси их повернуты на 180°. Комбинирование напряжений от каждой стороны капсюля и поворот их фазы на 180° позволяют изменять характеристики направленности этого микрофона.

Использование транзисторов в конденсаторных микрофонах представило собой этап глубокой модернизации микрофона, повлекший за собой значительное уменьшение габаритов микрофона в целом, по-

вышение его экономичности и надежности и улучшение эксплуатационных удобств.

Для обеспечения возможности питания транзисторного конденсаторного микрофона только от одной низковольтной батареи пита-

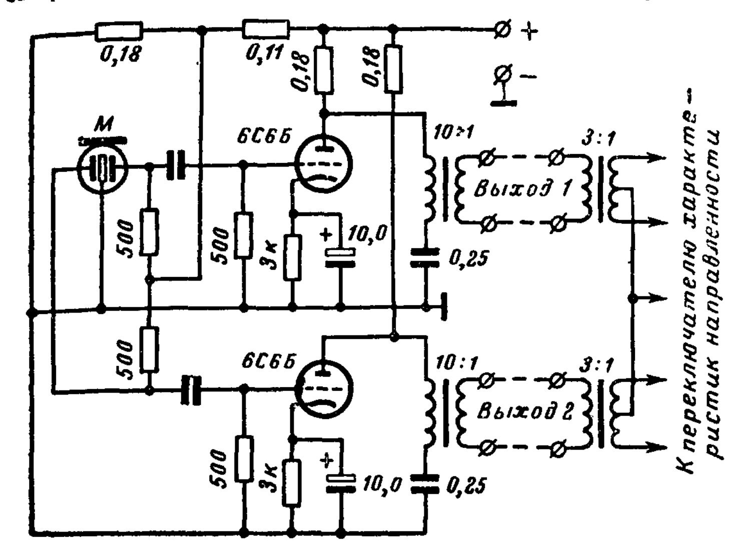


Рис. 29. Электрическая схема микрофона 19А-10.

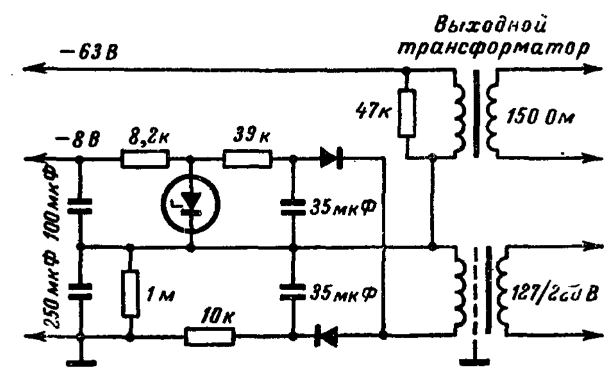
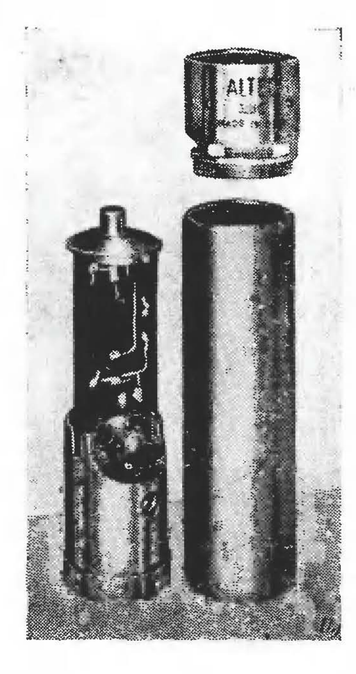


Рис. 30. Схема питающего устройства микрофона М-50.

ющее устройство некоторых микрофонов содержит транзисторный преобразователь напряжения, повышающий напряжение батареи, помещающейся в самом микрофоне, до 63 В. Однако такие преобразователи не получили значительного распространения по разным при-

чинам, включая увеличение уровня шумов, обусловленного электрическими помехами, создаваемыми преобразованием. Более простым и достаточно удобным способом питания микрофона явилось использование двух батарей (8,4 и 63 В), обеспечивающих работу микрофона в течение 2 500 ч. т. е. приблизительно в течение года по 7 ч ежедневно. Срок службы определяется емкостью низковольтной ртутной батареи, от которой полевой транзистор потребляет ток 0,5 мА; от батареи, создающей поляризующее напряжение, ток не расходуется, поэтому она служит дольше.



В комплект транзисторного конденсаторного микрофона М-50 фирмы «Альтек» входит питающее устройство, работающее от осветительной сети. Схема питающего устройства приведена на рис. 30. Чувствительность этого микрофона 8 мВ·м²/Н; сопротивление нагрузки 150 Ом; внешний вид его показан на рис. 31, *а*, частотные характеристики чувствительности — на рис. 31, *б*.

Широкое распространение транзисторов вызвало как бы второе рождение высокочастотных схем включения капсюля конденсаторного микрофона, известных с 1924 г., т. е. почти столько же, сколько существует конденсаторный микрофон. Для работы капсюля в этой схеме не требуется поляризующего напряжения. Измене-

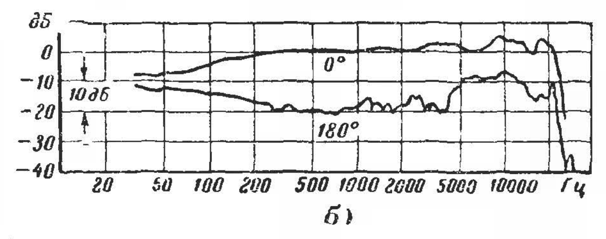


Рис. 31. Микрофон М-50 с транзисторным усилителем (*а*) и его частотные характеристики чувствительности (*б*).

ния емкости капсюля, вызываемые действием на диафрагму звуковых волн, изменяют частоту контура, в который включен капсюль, модулируя тем самым колебания высокочастотного генератора, входящего в схему. Далее напряжение детектируется и усиливается.

Эти схемы, применявшиеся в первые годы существования конденсаторных микрофонов, в дальнейшем вышли из употребления вследствие ряда эксплуатационных неудобств: нестабильности час-

тоты генератора, громоздкости устройства, необходимости иметь источники питания радиоламп. Новые высокочастотные схемы включения капсюля с транзисторами позволяют обойтись одним источником питания напряжением 8—9 В, необходимым для работы транзисто-

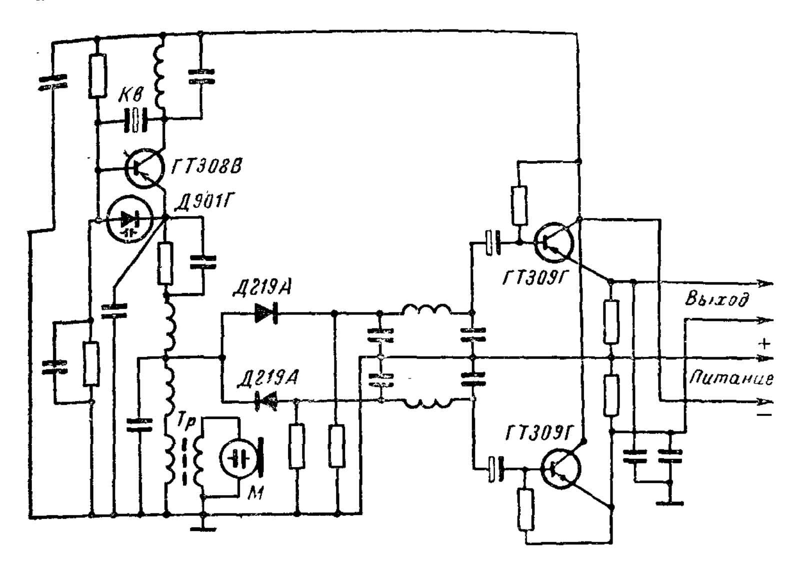


Рис. 32. Высокочастотная схема конденсаторного микрофона 19А-21.

ров, так как поляризующего напряжения в таких схемах не требуется. Однако такие схемы требуют высокой стабильности величины емкости капсюля в отсутствие звукового сигнала, так как изменение емкости приводит к расстройке контура и изменению большинства электроакустических показателей микрофона.

В качестве примера на рис. 32 приводится схема конденсаторного микрофона 19А-21. Эта схема содержит генератор частоты 5 МГц на транзисторе ГТ308В, стабилизированный кварцем. Для уменьшения искажений формы тока в резонансном контуре, образованном индуктивностью вторичной обмотки в. ч. трансформатора *Тр* и емкостью микрофонного капсюля, используется варикап (нелинейная емкость) Д901Г. Это увеличивает чувствительность и уменьшает собственный шум микрофона Модулирующим элементом служит микрофонный капсюль *М*. Изменение его емкости под воздействием звука вызывает расстройку резонансного контура и изменения амплитуды и фазы напряжения несущей частоты 5 МГц, подводимого к демодулятору (детектору). Последний собран по схеме удвоения на кремниевых диодах Д219А. После детектирования выделяется напряжение модулирующего, т. е. звукового, сигнала.

Для согласования выхода микрофона с нагрузкой используется эмиттерный повторитель на транзисторах ГТ309Г. Эта схема питается от батареи из семи аккумуляторов КНГ-1,5 напряжением 8,75 В.

Батарея находится в стационарном питающем устройстве. Оно содержит также выпрямитель для зарядки этой батареи. Продолжительность непрерывной работы батареи 150 ч. Микрофон потребляет от батареи ток 10 мА; его чувствительность 18 мВ·м²/Н; диапазон частот 40—16 000 Гц; сопротивление нагрузки 1 000 Ом; эквивалентный акустический уровень собственного шума 14 дБ. Внешний вид микрофона 19А-21 с питающим устройством показан на рис. 33.

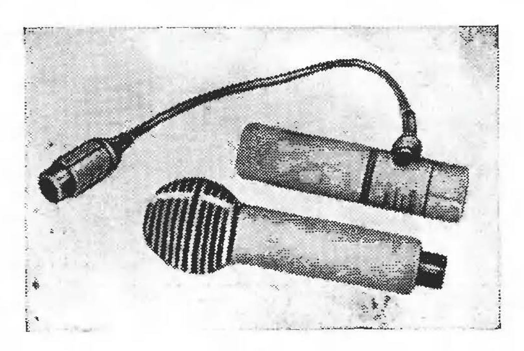


Рис. 33. Внешний вид микрофона 19А-21 с малогабаритным питающим устройством.

Чтобы познакомить читателя с возможностями конденсаторных микрофонов с высокочастотной схемой, приводим данные о последней модели студийного конденсаторного одноиаправленного микрофона МКН-415 фирмы «Сенхайзер» (ФРГ). На низших и средних частотах (приблизительно до 1 кГц) микрофон работает, как обычный приемник градиента давления с акустическим фазовращателем (фильтром), создающим одностороннюю направленность (гиперкардиоида). Благодаря такой верхней границе рабочего диапазона частот приемника градиента давления разность путей звуковых волн, действующих на фронтальную и тыльную стороны диафрагмы, сравнительно велика. Поэтому велики и сдвиг фаз, и зависящая от него сила, приводящая в движение диафрагму, в результате чего и чувствительность микрофона достаточно высока. На более высоких частотах, когда приемник градиента давления с фазовращателем теряет необходимую форму характеристики направленности, вступает в действуе звукоприемная трубка с продольной щелью, присоединенная к лицевой стороне диафрагмы, и микрофон становится интерференционным приемником. Микрофон снабжен ветрозащитной сеткой; она защищает также капсюль от искажений при произнесении вблизи микрофона взрывных звуков. Чувствительность микрофона в диапазоне частот 40—20 000 Гц около 20 мВ·м²/Н. Эквивалентный — акустический уровень собственного шума около 23 дБ. Рабочий диапазон температур составляет —10÷+70 °С; максимальное допустимое давление 30 Н/м² (123 дБ). Напряжение питания микрофона 12±2 В, ток около 6 мА. Микрофон представляет собой цилиндр диаметром 19 и высотой 250 мм; масса его 190 г.

Основные параметры и конструктивные данные промышленных типов конденсаторных микрофонов, включая некоторые модели им-

портных микрофонов, применяемых у нас, приводятся в приложениях I и II; там же указана область их применения.

Электретные микрофоны. Эти микрофоны, также относящиеся к конденсаторным, впервые были выпущены в 1969 г. японской фирмой «Сони». Их главное отличие заключено в капсюле. Электреты являются электрическим аналогом постоянного магнита. К ним относятся полимеры (смолы), несущие постоянный электрический заряд. Эта особенность некоторых материалов, обладающих свойствами изоляторов (диэлектриков), была обнаружена еще в 20-х годах, но практически не использовалась из-за недостаточной стабильности и долговечности электрического заряда. Большие успехи в изготовлении стабильных электретов были достигнуты в последнем десятилетии. Если из электретной пленки изготовить диафрагму или отлить из керамики базу капсюля конденсаторного микрофона, то такой микрофон не потребует для работы поляризующего напряжения, поскольку диафрагма или база сама имеет поверхностный электрический заряд, соответствующий поляризующему напряжению 45—130 В.

В качестве электретной пленки обычно используется хорошо известный изоляционный материал — фторопласт (тефлон) толщиной 6—15 мкм; базу отливают из термоэлектрета — титаната кальция; поверхность пленки или базы металлизуется с одной стороны.

Поляризация пленки, т. е. образование электрета, осуществляется следующим образом: фторопластовую пленку нагревают до температуры 230 °С и выдерживают при постоянном напряжении около 4 кВ, приложенном между двумя параллельными металлическими пластинами, разделенными воздушным промежутком около 2 мм; этот промежуток предохраняет пленку от пробоя. Затем поляризуемой пленке дают возможность медленно остыть в постоянном электрическом поле, созданном приложенным к пластинам напряжением. Базу из керамики титаната кальция поляризуют, нагревая до 160 °С при напряжении 1 кВ; после этого поляризованная база остаривается для стабилизации заряда подогревом до 200 °С.

Многочисленные исследования старения электретных капсюлей показали, что повышение температуры выше 50 °С и относительной влажности выше 92% способствует старению электретов. Однако при более низких температуре и влажности, соответствующих обычным комнатным условиям, срок жизни электретных капсюлей оценивается в 30 лет и более. Эта оценка сделана экстраполяцией результатов старения электретных капсюлей, полученных при более высоких температурах. Электретные капсюли имеют емкость на единицу площади в 3 раза большую, чем обычные конденсаторные капсюли (около 60 пФ/см^2), что способствует уменьшению собственного шума и особенно важно для микрофонов с малым диаметром (до 12 мм).

В электретном капсюле также существует сила притяжения между диафрагмой и базой, и диафрагма может прилипнуть к базе при недостаточном расстоянии между ними и недостаточной восстанавливающей силе диафрагмы, обусловливаемой ее упругостью. В обычном конденсаторном капсюле прилипание можно устранить, выключив поляризующее напряжение; в электретном капсюле прилипание нельзя устранить, ибо электретная поляризация не может быть «выключена». Поэтому для устранения возможности прилипания электретной диафрагмы к базе последняя имеет многочислен-

ные выступы (опоры), равномерно распределенные по всей ее поверхности. На них опирается диафрагма. Эти опоры позволяют уменьшить расстояние между диафрагмой и базой и повысить этим емкость капсюля. Кроме того, они резко увеличивают ударную прочность капсюля и снижают его вибрационную чувствительность на 10—20 дБ по сравнению с обычным конденсаторным капсюлем.

Внешний вид электретных конденсаторных микрофонов, выпускаемых японской фирмой «Сони» и чехословацкой фирмой «Тесла», показан на рис. 34.

В четырех типах японских микрофонов (ECM-50—ECM-53) используются два типа капсюлей (диаметром 10,6 и 20 мм). Рядом



Рис. 34. Электретные микрофоны.

а—ECM-51 («Сони»); *б*—ECM-52 («Сони»); *в* — фирмы «Тесла».

с каждым капсюлем размещен миниатюрный усилитель в интегральном исполнении; схема микрофона представлена на рис. 35. Усилитель питается от одного элемента, потребляя ток около 135 мкА, что обеспечивает срок службы питающего элемента от 3 000 до 15 000 ч в зависимости от его типа. На рис. 36 показаны частотные характеристики чувствительности и характеристики направленности

электретных конденсаторных однонаправленных микрофонов ECM-52 и ECM-53, содержащих капсюль диаметром 20 мм. Чувствительность этих микрофонов 1,8 мВ·м²/Н при нагрузке 600 Ом; эквивалентный уровень собственного шума составляет 28 дБ; максимальный допустимый уровень звукового давления 134 дБ.

Электретные конденсаторные микрофоны, будучи существенно дешевле обычных конденсаторных микрофонов, нашли применение даже в слуховых аппаратах для плохо слышащих, выпускаемых этой же фирмой «Сони».

В 1972 г. после нескольких лет разработки одна из ведущих фирм-производителей микрофонов «Сенхайзер» (ФРГ) выпустила две модели электретных микрофонов высокого качества. Первая модель—МКЕ 201—представляет собой приемник давления, т. е. ненаправленный микрофон. Вторая модель — МКЕ 401—относится к приемникам градиента давления с характеристикой направленности в виде суперкардиоиды (при сигнале частотой 1 000 Гц и углах ±150° уменьшение чувствительности более 20 дБ). Номинальный диапазон частот обоих микрофонов 50—15 000 Гц, однако однонаправленный микрофон МКЕ 401 имеет небольшое снижение чувствительности в области 50—250 Гц (на 8 дБ при 50 Гц).

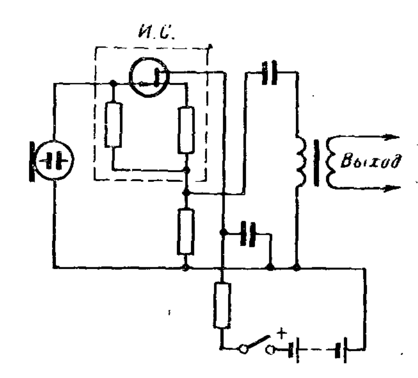


Рис. 35. Электрическая схема электретного микрофона ECM-52.

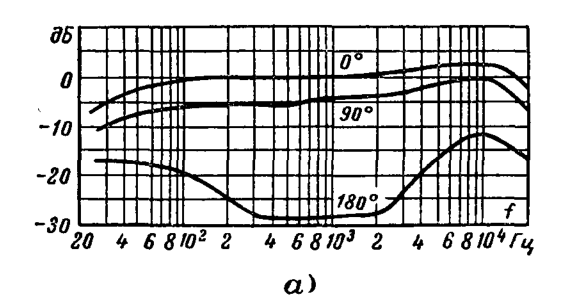
И. С. — интегральная схема.

Чувствительность микрофонов при частоте 1 000 Гц 20 мВ·м²/Н; номинальное сопротивление нагрузки 1,5 кОм. Микрофоны питаются ртутной батареей напряжением 5,6 В, помещаемой в корпус микрофона после отвинчивания головки, содержащей капсюль, гибридный усилитель и необходимые акустические элементы. Срок службы батареи более 600 ч, ее приблизительные габариты: диаметр 18 и высота 20 мм. Для контроля напряжения батареи в корпусе микрофона установлен индикатор со светящимся диодом. Этот диод кратковременно светится при включении и выключении исправной батареи выключателем, также установленным в корпусе микрофона. Когда свечение индикатора прекращается вследствие падения напряжения батареи, микрофон может проработать еще 20 ч без ухудшения его показателей. Размеры микрофонов: диаметр 22 и высота 172 мм; масса около 120 г.

У нас разработан электретный конденсаторный однонаправленный микрофон широкого применения с диапазоном частот 20—20 000 Гц, чувствительностью 18 мВ·м²/Н и собственным шумом 23 дБ. Капсюль этого микрофона содержит диафрагму из лавсана толщиной 6 мкм, позолоченную с одной стороны, и базу, отлитую из титаната кальция с металлокерамическим фильтром; зазор между диафрагмой и базой 18—20 мкм. Разработан и проходит испытания электретный ненаправленный конденсаторный капсюль, для

замены угольного капсюля в аппаратах телефонной связи. Этот капсюль диаметром 50 мм имеет чувствительность 50 мВ·м^2/Н и диапазон частот 300—3 000 или 100—7 000 Гц; его емкость около 180 пФ. Капсюль содержит диафрагму из фторопласта Ф-4 толщиной 15 мкм.

Измерительные микрофоны. Конденсаторные микрофоны обладают плоской частотной характеристикой чувствительности в ши-



а)

б)

Рис. 36. Частотные характеристики чувствительности (*а*) и характеристики направленности (*б*) электретного микрофона ЕСМ-52.

роком диапазоне частот, малым временем установления сигнала и малыми размерами. Поэтому они широко применяются для акустических измерений. Конденсаторные микрофоны используют в шумометрах (измерителях звукового давления), «искусственном ухе» и других акустических измерительных приборах. Измерительные микрофоны, являясь приемниками давления, имеют круговую характеристику направленности (во всяком случае до 6 000—8 000 Гц).

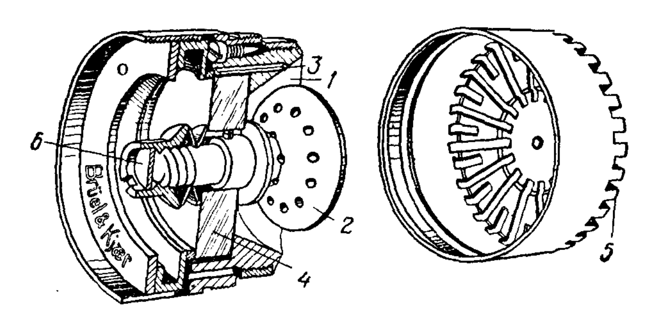


Рис. 37. Разрез капсюля измерительного микрофона.

1 — диафрагма 2 — база; 3 — капиллярная трубочка для уравнивания давления; 4 — кварцевый изолятор; 5 — защитная сетка; 6 — выходной контакт.

Для уменьшения направленности на высших частотах и уменьшения искажений исследуемого звукового поля измерительные микрофоны имеют небольшие габариты; диаметр капсюля уменьшают до 2,25 мм. Они обладают весьма широким частотным диапазоном при сравнительно малой неравномерности частотной характеристики чувствительности. Например, частотная характеристика чувствительности микрофона МК-6 охватывает диапазон частот от 20 до 40 000 Гц при неравномерности 5 дБ. Микрофон № 4135 датской фирмы «Брюель и Кьер» с капсюлем диаметром 7 мм имеет рабочий диапазон частот от 4 до 100 000 Гц с неравномерностью 4 дБ.

Одними из главных требований, предъявляемых к измерительному микрофону, являются стабильность его параметров по времени и независимость его параметров от внешних условий. Этим в известной степени объясняется особенность конструкции капсюля такого микрофона. На рис. 37 показано устройство микрофонного капсюля № 4131/32 фирмы «Брюель и Кьер» диаметром 25 мм.

Для измерения звуковых давлений очень низких частот (0,1 Гц), которые возникают при грозовых разрядах, в аэродинамических трубах и в некоторых других случаях, эта же фирма недавно выпустила новые капсюли диаметром 25 и 13 мм (№ 4146 и 4147). В них увеличено сопротивление изоляции и изменена система уравнивания статического воздушного давления по обе стороны диафрагмы, так как эти факторы вместе с входным сопротивлением усилителя ограничивали частотную характеристику чувствительности снизу частотой около 2 Гц. Новые капсюли включаются в высокочастотную схему усилительно-преобразующего устройства № 2631, подобную описанной ранее. Частота стабилизированного кварцем генератора

составляет 10 МГц. Для компенсации влияния различных емкостей капсюлей в устройстве имеется усилитель с отрицательной обратной связью. Частотная характеристика капсюля № 4146 охватывает диапазон частот от 0,1 до 7 кГц, а капсюля № 4147 — от 0,005 Гц до 20 кГц.

Помимо измерительного микрофона МК-6 и микрофонов МК-5а и МИК-6, у нас еще не так давно выпускался миниатюрный «акустический зонд» ЗА-4. Последний был разработан для того, чтобы еще меньше искажать микрофоном звуковое поле, а также для измерения звукового давления там, где невозможно использовать измерительный микрофон из-за его неподходящих размеров (например, в небольших камерах).

Звук в акустическом зонде принимается трубкой (акустической линией) и проходит по ней к диафрагме конденсаторного микрофона. Отличительная особенность зонда заключается в специально подобранной акустической нагрузке на выходном конце трубки, обеспечивающей равномерность частотной характеристики.

Звукоприемная трубка зонда ЗА-4 металлическая длиной 400, с наружным диаметром 6 и внутренним диаметром 4 мм. Металлическая трубка переходит в свернутую резиновую длиной 2,5 м. Отражение звука от конца резиновой трубки устраняется введением внутрь нее ворсистой шерстяной нитки.

В последнее время для создания акустического зонда с целью измерения звукового давления в труднодоступных местах, например в ухе, к конденсаторному микрофону диаметром 13 мм выпускают металлические насадки длиной 240 мм с наружным диаметром 1, 2, 4 и 0,5 мм и длиной насадки 120 мм. Эти насадки при надлежащем их акустическом демпфировании обеспечивают достаточно гладкую частотную характеристику зонда (приблизительно ±1,5 дБ до 7 кГц).

Основные данные измерительных микрофонов приводятся в приложении I.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ МИКРОФОНЫ

В стереофоническом вещании и стереофонической звукозаписи на граммофонную пластинку или магнитную ленту используют два канала (в кино — три и более каналов); этим числом определяется минимальное количество микрофонов. Существует три системы низкочастотной двухканальной стереофонии, обозначенные буквами АВ, XY и MS. Существенное значение для обеспечения эффективной работы стереофонической системы имеют правильный выбор характеристики направленности и надлежащее размещение микрофонов.

В наиболее простой системе АВ применяют два обычных монофонических микрофона с одинаковыми характеристиками направленности (предпочтительнее однонаправленные), устанавливаемые на расстоянии от 20 до 100 см. Микрофоны обычно крепятся к стойке таким образом, что они могут сближаться (один с другим) и поворачиваться в разные стороны Два варианта размещения микрофонов двух типов показаны на рис. 38. Они предназначены для работы в системе АВ, но могут применяться и в системе XY

Для более эффективного использования в системах XY и MS капсюли микрофонов должны располагаться возможно ближе один к другому. Это условие точнее всего можно реализовать в том случае, когда оба капсюля объединены общей конструкцией в виде стереомикрофона. Стереомикрофон состоит из двух микрофонов, совмещенных в единой конструкции так, что звукоприемные диафрагмы (мембраны) их капсюлей находятся одна под другой. При этом можно поворачивать один капсюль относительно другого. Такая конструкция осуществлена в электродинамическом катушечном стереомикрофоне типа D-66 австрийской фирмы AKG. Его внешний вид показан на рис 39. Верхний микрофон можно снять и использовать так же как и нижний, в монофонической системе.

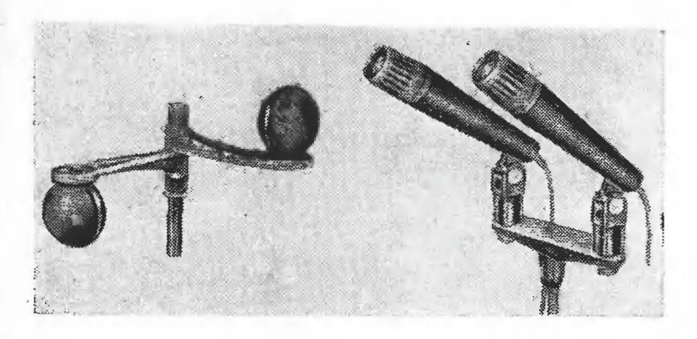


Рис. 38. Два варианта крепления катушечных микрофонов для работы в стереофонической системе AB.

Катушечные стереомикрофоны преимущественно применяются для любительских записей.

В стереофонических вещательных системах, как правило, используют конденсаторные микрофоны, например отечественный стереомикрофон МК-14 (его внешний вид показан на рис. 40, *а*) и стереомикрофон SM-2 фирмы «Нойман» (показан на рис. 40, *б*).

Микрофон МК-14 состоит из двух капсюлей, расположенных один над другим, и соответственно двух согласующих усилителей, работающих на лампах 6С31Б Нижний капсюль жестко укреплен на основании, а верхний может поворачиваться относительно нижнего на 90° в одну сторону и на 180° — в другую. Для этого нужно вращать верхнюю крышку микрофона, на которой выгравированы точки, расположенные через 45°. Рабочий центр нижнего капсюля отмечен красной точкой на верхней крышке микрофона и фирменным знаком на корпусе усилителя.

В каждом капсюле предусмотрены три характеристики направленности (круг, кардиоида и восьмерка), которые получаются изменением полярности и величины поляризующего напряжения (как это было показано на рис. 28). Ручка переключателя выведена на переднюю панель блока питания (последний содержит общие для обоих каналов анодный и накальный выпрямители, фильтры и стабилизаторы напряжений). Таким образом, в стереомикрофоне МК-14 можно устанавливать различные комбинации характеристик на-

Стереофонические системы вещания должны обеспечивать совместимость, т. е. возможность обращения стереофонической передачи или записи в монофоническую. Для этого сигналы от микрофонов стереомикрофона электрическим путем складывают и вычитают, что наиболее просто осуществляется при помощи двух одинаковых трансформаторов, каждый из которых имеет две одинаковые симметрированные вторичные обмотки. К первичной обмотке каждого трансформатора подводятся сигналы от соответствующего микрофона, а вторичные обмотки соединяются попарно (рис. 41, *а*), так что в одном случае напряжения с одного и другого трансформаторов складываются, а в другом — вычитаются (обмотки соединены встречно). Такой же результат может быть получен, если на одном трансформаторе сделать две вторичные обмотки или одну двойную обмотку со средней точкой, а на другом — одну вторичную и соединить их, как показано на рис. 41, б.

ОСТРОНАПРАВЛЕННЫЕ МИКРОФОНЫ

Встречается много случаев, когда направленность кардиоидного микрофона оказывается недостаточной и необходимо еще больше ограничить прием источников звука, расположенных сбоку и сзади микрофона. К таким случаям относится прием звука от удаленных источников при наличии шума. Это может быть в студии звукового кино, в телевидении, при передаче из аудитории голосов людей, говорящих с места, при записи пения птиц и т. п.

Увеличение направленности микрофона (почти любого типа) может быть достигнуто использованием интерференционных эффектов, обусловленных различной длиной отдельных путей, проходимых звуковыми волнами, сравнимых с длиной волны принимаемого звука. Разные длины путей приводят к тому, что прошедшие этими путями волны складываются, имея различные фазы.

Простейшим способом увеличения направленности является установка ненаправленного микрофона в фокусе параболического отражателя (рефлектора) диафрагмой к нему. Звуковые волны, приходящие вдоль оси рефлектора, отражаясь от его внутренней поверхности, собираются в фокусе и воздействуют на диафрагму микрофона. При направлении прихода звука, не совпадающем с осью рефлектора, в фокусе соберется гораздо меньше звуковой энергии и звуковое давление, действующее на диафрагму микрофона, уменьшится. Диаметр рефлектора должен быть соизмерим с длиной волн звуков низших частот диапазона, в котором необходимо повысить направленность. Это означает, например, что рефлектор диаметром 1 м будет эффективен только до частоты приблизительно 700 Гц. С ростом частоты сигнала направленность рефлектора увеличивается и иногда становится чрезмерной. Для уменьшения направленности на высших частотах микрофон помещают не точно в фокусе рефлектора или покрывают периферийную (краевую) его часть звукопоглощающим материалом. Поскольку такой материал обычно поглощает сильнее высшие частоты звукового диапазона, его наличие на периферии рефлектора резко уменьшает отражение звуков высших частот от этой части рефлектора и тем самым уменьшает его действующий диаметр.

Увеличение направленности микрофона может быть также достигнуто применением рупора или акустической линзы.

правленности и изменять угол между рабочими осями капсюля, как это требуется в системах XY и MS при разных конкретных обстоятельствах.

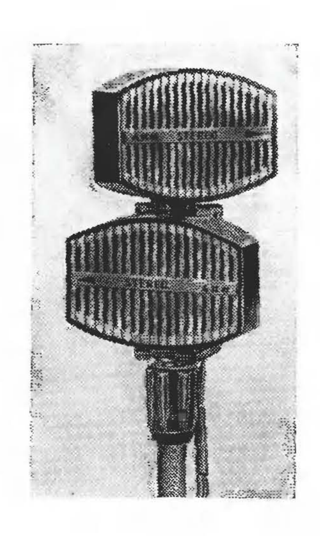


Рис. 39. Стереофонический катушечный микрофон D-66 австрийской фирмы AKG.

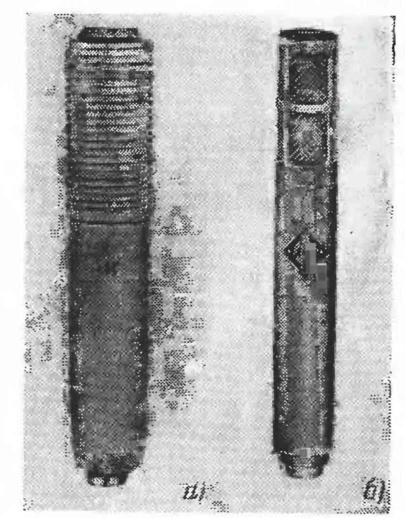


Рис. 40. Стереофонические конденсаторные микрофоны.

а — микрофон МК-14; б — микрофон SM-2.

Устройство стереомикрофона SM-2 и его блока питания аналогичное. Несколько иные детали, а также некоторые схемные и конструктивные различия не имеют принципиального значения.

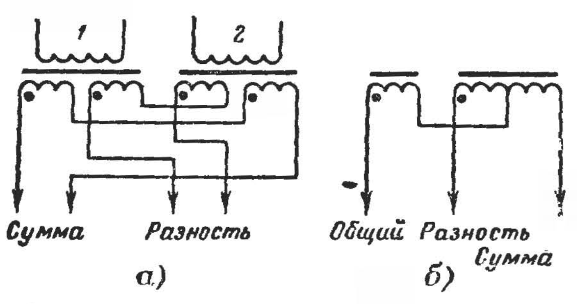
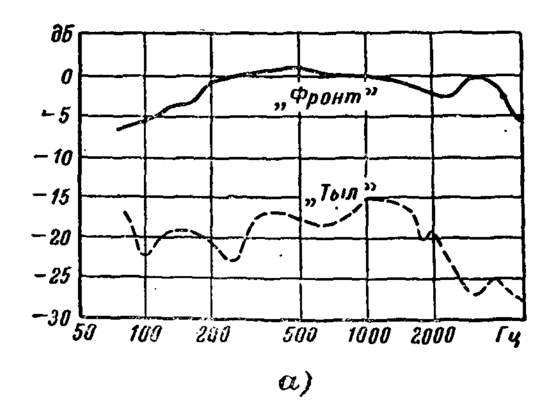


Рис. 41. Схемы для получения суммы и разности сигналов двух микрофонов.

а — с двумя трансформаторами; б — с автотрансформатором. Начало каждой обмотки помечено жирной точкой.



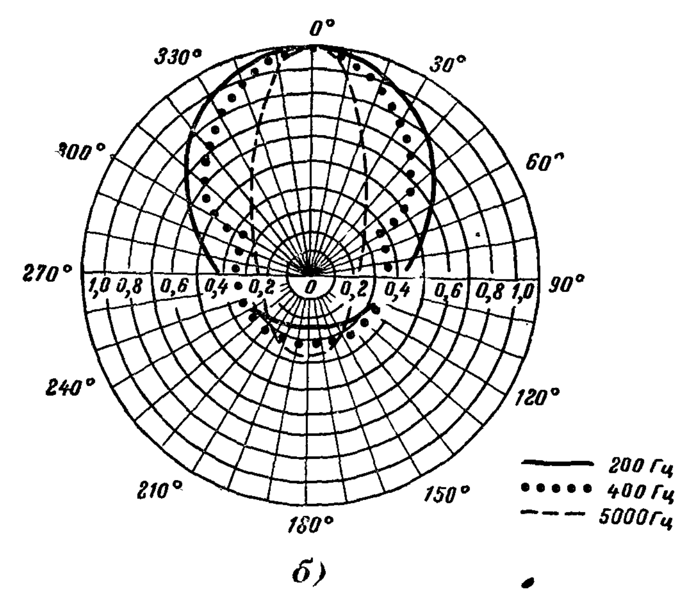


Рис. 42. Линейный микрофон МД-51.

а — частотные характеристики чувствительности; *б* — диаграммы направленности.

Другим способом повышения направленности микрофона является устройство так называемого «линейного микрофона». Он представляет собой обычный ненаправленный микрофон с пучком трубок различной длины перед диафрагмой. Через этот звукопровод звуковое поле воздействует на микрофон. Направлениость в ли-

нейном микрофоне получается вследствие того, что звуковые волны, приходящие вдоль осей расположенных равными уступами трубок, достигают диафрагмы микрофона в одной фазе, тогда как волны, приходящие под углом к осям трубок, проходят к диафрагме пути различной длины и оказываются в значительной части не в фазе, вследствие чего уменьшается результирующее звуковое давление в полости перед диафрагмой. К сожалению, требование соизмеримости длин трубок и длины волны, соответствующей низшей частоте, для которой требуется повысить направленность, приводит к значительной длине пучка трубок. Так, для частоты 200 Гц длина трубок должна быть около 3 м.

Разновидностью пучка трубок является трубка диаметром 25—50 мм со многими отверстиями, расположенными в одну линию вдоль трубы, или боковая щель, сделанная по всей длине трубы.

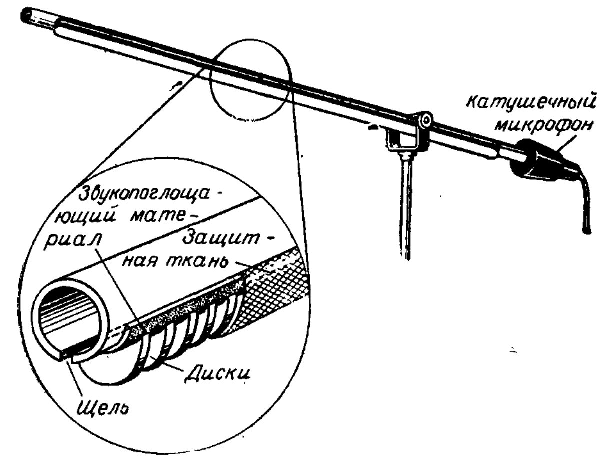


Рис. 43. Внешний вид и устройство линейного микрофона.

Первый способ увеличения направленности был реализован в выпускавшемся у нас несколько лет назад микрофоне МД-51. Этот микрофон состоял из трубки — звукопровода длиной 700 мм и катушечного микрофона — приемника давления. Трубка имела 24 отверстия диаметром 3 мм, равномерно расположенные по ее длине и закрытые шелком, служащим акустическим сопротивлением.

Частотные характеристики микрофона МД-51 для фронтального и тылового направлений прихода звука показаны на рис. 42, *а*, а его типовые характеристики направленности приведены на рис. 42, *б*.

Оказалось возможным несколько уменьшить необходимую длину трубы, сделав боковые ходы криволинейными (в виде петли), что приводило к дополнительной акустической задержке звука и сдвигу фазы. В последней модели линейного микрофона с трубой, имеющей боковую щель, применили звукопоглощающий материал и многочисленные пластинки (диски) у боковой щели, как это пока-

Рис. 44. Диаграммы направленности линейного микрофона.

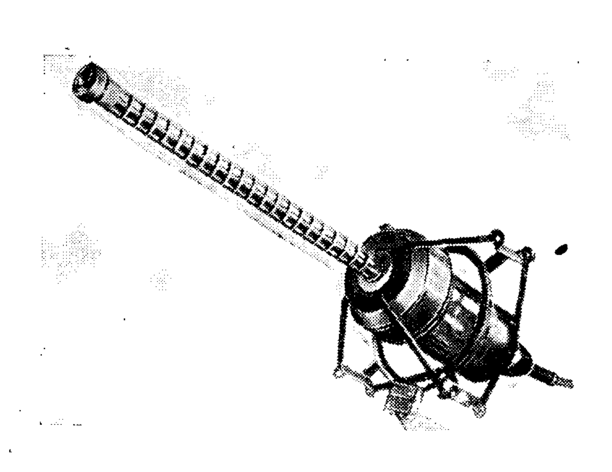


Рис. 45. Внешний вид линейного микрофона.

зано на рис. 43. Диски у входной щели образуют резонаторы для высших частот, которые необходимы для компенсации ослабления этих частот, вызванного потерями в трубе и полости перед диафрагмой микрофона. Диаграмма направленности этого микрофона показана на рис. 44, а внешний вид — на рис. 45.

Другим улучшением линейного микрофона было постепенное уменьшение поперечного сечения к концу трубы посредством внутреннего клина. Представление о направленности описанных выше остронаправленных микрофонов по сравнению с однонаправленным кардиоидным микрофоном дает табл. 1.

Таблица 1

Тип микрофона	Коэффициент направленности					
	200 Гц	500 Гц	1 000 Гц	2 000 Гц	4 000 Гц	8 000 Гц
Кардиоидный микрофон диаметром 40 и длиной 100 мм	3	3	3	3	3	2
Параболический рефлектор диаметром 800 и глубиной 300 мм с ненаправленным микрофоном	4	20	47	125	—	—
Пакет ступенчатых трубок диаметром 75 мм и длиной 1,5 м	3,5	8	12	25	25	40
Трубка с боковой щелью и звукопоглотителем диаметром 40 мм и длиной 2 м	5,4	13	28	55	100	—

Как видно из таблицы, на низших частотах направленность остронаправленных микрофонов указанных размеров соответствует направленности кардиоидного микрофона и единственная возможность ликвидации последствий ухудшения направленности на низших частотах состоит в том, чтобы срезать электрическим фильтром эту часть звукового диапазона.

Необходимость исключения низших частот при недостаточной направленности микрофона диктуется тем, что большинство шумов, от которых хотят избавиться повышением направленности микрофона, находится как раз в этой области диапазона частот. Следует упомянуть, что вертикальная колонка из нескольких микрофонов, соединенных синфазно подобно звуковой колонке громкоговорителей, обладает повышенной направленностью в вертикальной плоскости.

Другим средством увеличения направленности является комбинация из нескольких микрофонов, разнесенных на небольшое рас-

стояние (60—100 мм) и включенных в электрическую схему, создающую необходимые сдвиги фаз.

Такой метод обострения характеристики направленности применен в биградиентном микрофоне МДО-1, представляющем собой объединение двух однонаправленных катушечных микрофонов МД-44, ориентированных в одну сторону. Они установлены в общем цилиндрическом кожухе соосно на расстоянии 100 мм один от другого.

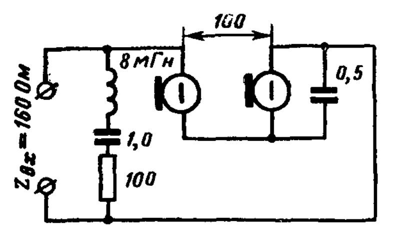
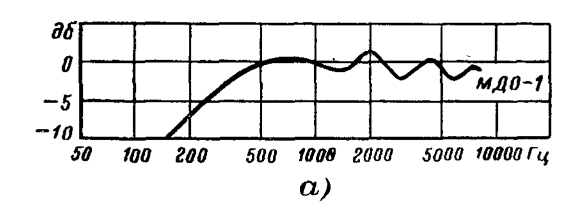


Рис. 46. Электрическая схема сдвоенного микрофона МДО-1.

Из электрической схемы микрофона МДО-1, приведенной на рис. 46, видно, что микрофоны соединены последовательно и противофазно. Один из микрофонов (задний) шунтирован конденсатором емкостью 0,5 мкФ, который как бы отключает микрофон (замыкает его накоротко) на высших час-



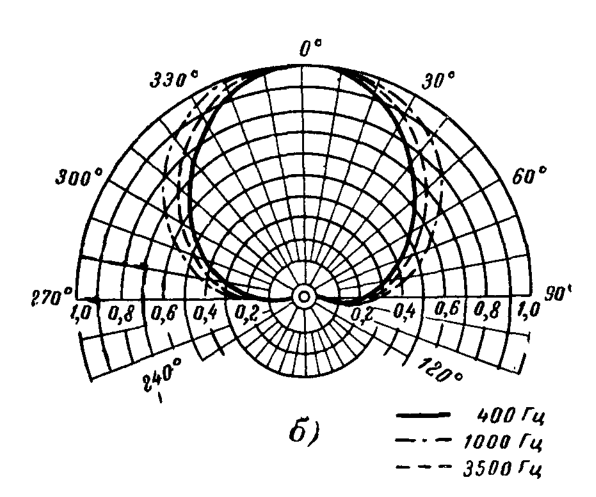
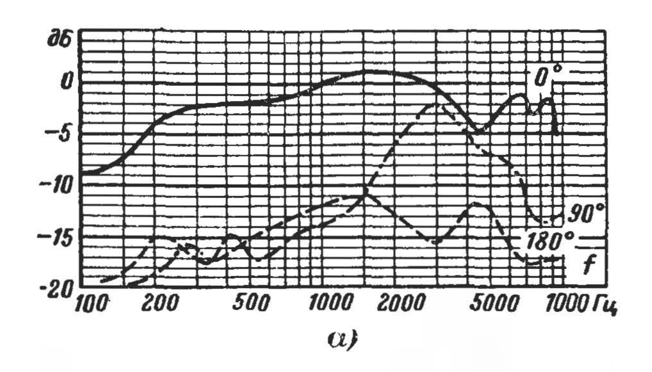


Рис. 47. Частотные характеристики чувствительности и диаграммы направленности микрофона МДО-1.

тотах, когда характеристика направленности одного микрофона МД-44 достаточно острая. Для снижения чувствительности в области средних частот с целью выравнивания частотной характеристики параллельно входу подключена корректирующая цепочка. Активное сопротивление катушки индуктивности равно 100 Ом. Все детали находятся внутри корпуса микрофона.



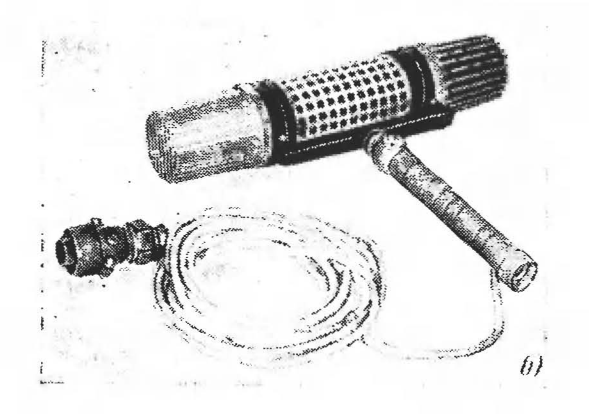


Рис. 48. Ленточный микрофон МЛ-18.

а — частотные характеристики чувствительности; *б* — внешний вид.

Частотная характеристика микрофона МДО-1 и диаграмма его направленности приведены на рис. 47. Аналогично устроен сдвоенный ленточный микрофон МЛ-18. Он состоит из двух однонаправленных (кардиоидных) ленточных микрофонов, объединенных в общую конструкцию. Сложение э. д. с. микрофонов в нужной фазе осуществляется с помощью соединения выходных трансформаторов. На рис. 48, *а* приводятся типовые характеристики чувствительности микрофона МЛ-18 для углов приема звука 0, 90 и 180°, из кото-

рых можно судить об остроте направленности и зависимости ее от частоты, а на рис. 48, *б* показан его внешний вид.

Значительно сложнее устройство и электрическая схема однонаправленного микрофона-приемника градиента давления третьего

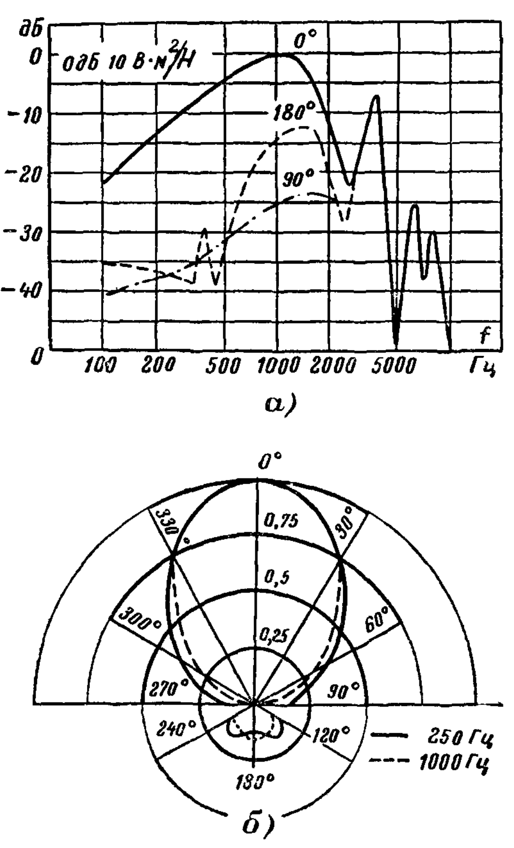


Рис. 49. Счетверенный микрофон-приемник градиента давления третьего порядка.

а — частотные характеристики чувствительности; *б* — диаграммы направленности.

порядка, который имеет более острую направленность. Этот микрофон состоит из четырех конденсаторных капсюлей-приемников градиента давления, каждый диаметром около 25 мм, установленных в перфорированном кожухе-цилиндре один за другим на расстоянии 62 мм один от другого так, что все диафрагмы параллельны.

Эти капсюли должны быть возможно ближе по частотным характеристикам чувствительности и характеристикам направленности.

Капсюли включают в высокочастотные мостовые схемы, работающие на частоте около 1,7 МГц. До суммирования электрических сигналов каждого микрофона три из них проходят через линии задержки, создающие сдвиги во времени, равные приблизительно времени, требующемуся акустическому сигналу для прохождения от одного капсюля к другому. Характеристики направленности описанного микрофона показаны на рис. 49, *а*, а частотные характеристики на рис. 49, *б*.

РАДИОМИКРОФОНЫ

Этим термином обозначают сочетание микрофона с портативным радиопередатчиком. Радиомикрофоны иногда входят в общий комплект аппаратуры систем усиления звука в закрытых помещениях и на открытых пространствах. Радиомикрофоны применяют для звукоусиления, репортажа, перевода речей, а также для связи в условиях открытой площади, большой сцены или лекционного зала, когда артист или диктор не может находиться достаточно близко к обычному микрофону. Применение радиомикрофонов представляет также большую ценность для передачи различных сообщений и команд в движении или с разных мест, когда невозможно или затруднительно присоединить микрофон непосредственно к звукоусилительному или вещательному тракту. Применение радиомикрофона предоставляет исполнителю или диктору полную свободу перемещения в пределах сцены, аудитории или открытого пространства без нарушения работы системы или ухудшения ее качественных показателей.

Радиомикрофон состоит из собственно микрофона (конденсаторного или катушечного), усилителя и маломощного радиопередатчика. Передатчик мощностью 20—100 мВт работает в диапазонах 30—45, 57—59 или 73—74 МГц (специальные диапазоны для радиомикрофонов), обеспечивая дальность действия 50—300 м. Он содержит от 5 до 10 транзисторов. Его размеры вместе с батареей не превышают размеров карманного радиоприемника, масса 100—300 г. В том случае, когда в радиомикрофоне используется конденсаторный капсюль, он включается непосредственно в контур задающего генератора и осуществляет частотную модуляцию генерируемого высокочастотного сигнала звуковым сигналом, воспринимаемым микрофоном.

При использовании катушечного электродинамического микрофона частотная модуляция передатчика осуществляется путем подачи переменного звукового напряжения на варактор, включенный в контур задающего генератора. Варактор — одно из названий варикапа СВЧ; это полупроводниковый диод, предназначенный для работы в качестве управляемой емкости, зависящей от величины приложенного напряжения. Достаточная стабильность частоты передатчика достигается введением в контур задающего генератора цепи автоматической подстройки частоты, использующей опорный кварцевый генератор. Это обеспечивает относительную нестабильность частоты менее $5 \cdot 10^{-4}$. Антенной служит гибкий изолированный провод длиной 0,5—1 м. В отечественных радиомикрофонах используются катушечные микрофоны МД-63Р, МД-65, МД-66 и капсюль конденсаторного микрофона МК-12Р. Внешний вид отечественных радиомикрофонов ПДРМ-7, ПДРМ-8, ПДРМ-9 и ПДРМ-10 показан на рис. 50.

Очень большое распространение получнли радиомикрофоны для связи, иногда односторонней, иа предприятиях и в учреждениях; радиомикрофон позволяет поддерживать непрерывную связь с сотрудниками, не находящимися иа одиом месте: курьером, мастером по ремонту или наладке оборудования и т. п.

Радиомикрофоны для служебной связи должны передавать более узкую полосу частот, достаточную для разборчивого звучания речи: приблизительно от 200—400 до 3 000—4 000 Гц. Поэтому в та-

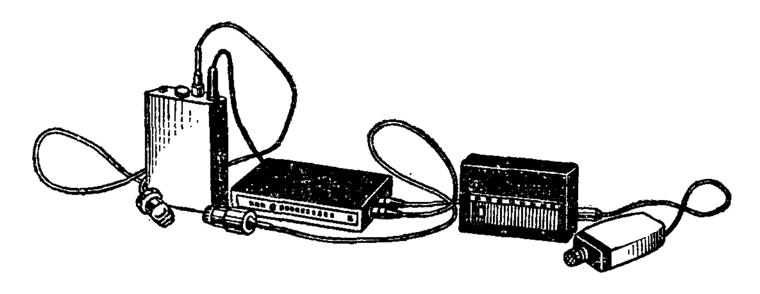


Рис. 50. Внешний вид радиомикрофонов ПДРМ-7—ПДРМ-10.

ких устройствах используются миниатюрные микрофоиы, применяемые в слуховых аппаратах для плохо слышащих: электромагиитные или пьезокерамические, а сами устройства за рубежом выпускаются часто фирмами, производящими слуховые аппараты, что позволяет им использовать, кроме микрофонов, и другие детали этих аппаратов, например корпус, а также батареи.

ИНДУКТИВНЫЙ МИКРОФОН

Большое сходство с системой радиомикрофона имеет система индуктивной связи, которую поэтому можно было бы условно назвать «индуктивным микрофоиом». Эта система широко применяется в театрах и кино, а также в классах для плохо слышащих. Голос преподавателя или актера плохо слышащие воспринимают с помощью головных телефонов (наушников), подключенных к стационарному звукоусиливающему устройству. Это, однако, требует прокладки линий иногда в неудобных местах и, кроме того, «привязывает» ученика к парте в классе, а зрителя — к креслу в зале. Возможно использование иидивидуальных слуховых аппаратов, но акустика помещения и особенно шум, имеющийся в нем, сильно ухудшают качество звукопередачи и понижают разборчивость речи. Решение было иайдено в том, что сигнал от микрофона подводится к усилителю, а к его низкоомному выходу присоединяется несколько витков провода, проложенных по периметру помещения. С помощью этих витков осуществляется иидуктивиая связь усилителя с индивидуальными слуховыми аппаратами, у которых на входе вместо микрофона включена катушка индуктивиости (такие катушки имеются в большинстве слуховых аппаратов для связи с микротелёфоиной трубкой телефонного аппарата и усиления телефониого

разговора с меньшими искажениями). Индуцированный в катушке сигнал усиливается и воспроизводится головным телефоном слухового аппарата. При этом связь сохраняется в пределах всего помещения; уровень же шумов, достигающих ушей слушателей, резко снижается, чего не было бы в случае прослушивания через микрофоны слуховых аппаратов. Для оборудования системы индуктивной связи в комнате площадью около 21 м^2 надо проложить по ее периметру шесть витков провода диаметром 1—1,2 мм. Для связи в кинозале размером 22×15 м необходимо уложить три витка, потребляющих от усилителя около 0,5 Вт. Для создания большей равномерности поля в партере и охвата первого яруса эти витки помещаются на высоте 2 м. В больших залах потребление мощности может составить 5—10 Вт. Подъем низших частот в усилителе, питающем витки (приблизительно на 15 дБ вблизи частоты 150 Гц), улучшает качество звучания. В тех случаях, когда системами «индуктивных микрофонов» оборудуются соседние комнаты, витки укладывают не по периметру, а ближе к центру комнаты или в виде комбинации зигзагов и петель, с тем чтобы поля отдельных участков за пределами комнаты вычитались и ослаблялись.

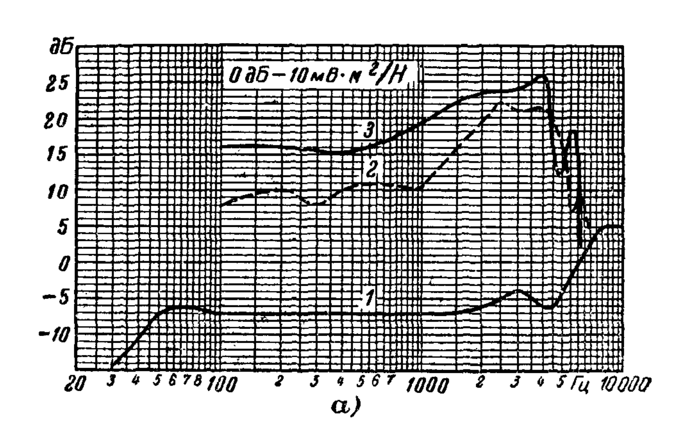
МАЛОГАБАРИТНЫЕ МИКРОФОНЫ

Пьезоэлектрические микрофоны. Основными потребителями миниатюрных микрофонов всегда являлись предприятия, производящие слуховые аппараты для плохо слышащих. Поскольку главным назначением слуховых аппаратов является обеспечение хорошей разборчивости речи, требования к частотной характеристике чувствительности малогабаритных микрофонов невысоки. Полоса, в которой действуют эти микрофоны, простирается от 200—300 Гц до 4—5 кГц. Первыми малогабаритными микрофонами были пьезоэлектрические микрофоны. Их действие основано на прямом пьезоэлектрическом эффекте. Он проявляется в том, что при деформации некоторых кристаллов на их поверхности возникают электрические заряды, величина которых пропорциональна деформирующей силе. Наибольшим пьезоэффектом обладают кристаллы сегнетовой соли (двойная калиево-натриевая соль виннокаменной кислоты). Пластинки, вырезанные из искусственно выращенных кристаллов и склеенные попарно таким образом, что они образуют так называемый биморфный элемент, служат рабочим элементом пьезомикрофонов. Для съема зарядов на их поверхности наклеивают обкладки из фольги. Именно такие пластинки применялись в первых пьезомикрофонах типа «звуковая ячейка». Чувствительность микрофона «звуковая ячейка», в котором звуковое давление воздействует непосредственно на биморфный элемент, была очень низкой, около 5 мВ·м^2/Н; частотная характеристика «звуковой ячейки» показана на рис. 51, *а*. Микрофоны этого типа применялись в шумомерах.

Для увеличения чувствительности пьезомикрофонов в их конструкцию была введена звукоприемная диафрагма из тонкого листа дюралюминия, как это показано на рис. 51, *б*, где представлены два пьезомикрофона от слуховых аппаратов «Звук» (круглой формы) и «Слух» (прямоугольной формы).

Наличие диафрагмы ухудшило частотную характеристику чувствительности (рис. 51, *а*), но значительно увеличило чувствитель-

ность микрофона, особенно в области резонансной частоты подвижной системы. Однако даже такая частотная характеристика обеспечивает достаточно удовлетворительную передачу звуков речи при малых габаритах и массе и низкой стоимости микрофона. У нас выпускались два типа пьезомикрофонов с диафрагмой: круглые



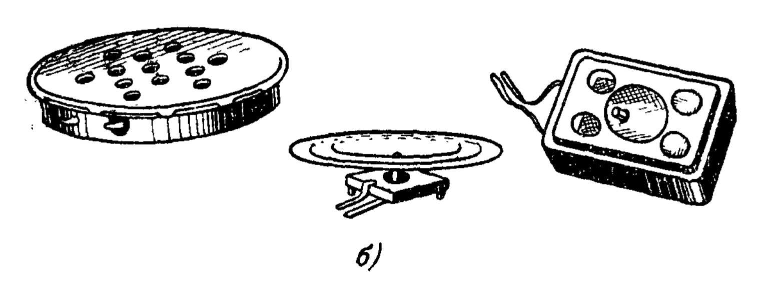


Рис. 51. Пьезомикрофоны.

а — частотные характеристики чувствительности: *1* — звуковая ячейка; *2* — от слухового аппарата «Слух»; *3* — от слухового аппарата «Звук»; *б* — внешний вид пьезомикрофонов.

(диаметром 35 и высотой 6 мм) для слухового аппарата «Звук» и прямоугольные (размерами 22,5×16×6 мм) для аппаратов «Слух» и «Кристалл». Масса таких микрофонов 10—12 г. Емкость пьезоэлемента 500—1500 пФ. В круглом микрофоне внутри вмонтирован резистор сопротивлением 5 МОм, подключенный к выходным контактам.

Как видно из рис. 51, *а*, пьезомикрофоны имеют среднюю чувствительность от 50—60 до 80—100 мВ·м²/Н со значительным подъемом в области 2—4 кГц (собственный резонанс диафрагмы, точнее, подвижной системы), где чувствительность доходит до 200 мВ×Xм²/Н, а в некоторых экземплярах еще больше. Во избежание силь-

ного спада частотной характеристики чувствительности на низших частотах сопротивление нагрузки пьезомикрофонов должно быть не менее 3—5 МОм.

По форме частотной характеристики и величине чувствительности разные экземпляры пьезомикрофонов имеют значительный разброс.

К недостаткам пьезомикрофонов следует отнести высокое внутреннее сопротивление (оно имеет емкостный характер), значительную неравномерность частотной характеристики чувствительности, недостаточную эксплуатационную надежность (хрупкость, гигроскопичность), зависимость параметров от температуры и сравнительно низкую предельно допустимую температуру (45 °С).

Электромагнитные микрофоны. Высокое выходное сопротивление пьезомикрофонов, обусловленное небольшой емкостью, не имело никакого значения для слуховых аппаратов с усилителем на миниатюрных радиолампах. Однако повсеместное использование в усилителях транзисторов, обычно имеющих низкое входное сопротивление, затруднило применение пьезомикрофонов. Первое время использовали гибридные схемы с двумя входными каскадами на радиолампах и выходным каскадом на транзисторе или применяли в транзисторных усилителях входные понижающие трансформаторы. Все же это ухудшало показатели слуховых аппаратов, поэтому были созданы многочисленные конструкции миниатюрных электромагнитных микрофонов, имеющих к тому же более высокие эксплуатационные характеристики (более высокая допустимая температура).

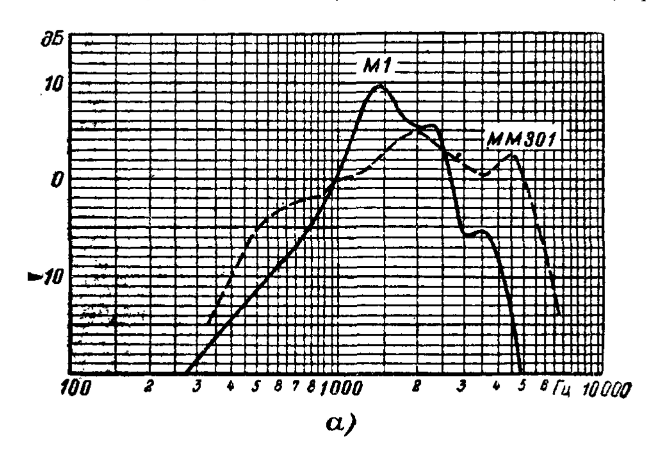
Принцип действия электромагнитной системы микрофона состоит в том, что колеблющийся от действующих на диафрагму микрофона звуковых волн якорь из мягкой или специальной стали воздействует на магнитное поле, образованное постоянным магнитом. Якорь находится в рабочем зазоре магнитной системы и жестко связан с диафрагмой, а потому колеблется вместе с нею, вызывая изменения магнитного потока. В результате этого в катушке, намотанной поверх якоря или полюсных наконечников и расположенной в том же магнитном поле, возникает э. д. с., соответствующая звуковым колебаниям, действующим на диафрагму.

Для уравнивания статического давления по обе стороны диафрагмы и обеспечения этим симметричного расположения якоря в зазоре электромагнитные микрофоны содержат трубочку, идущую от передней части диафрагмы в закрытый корпус микрофона. Наличие этой трубочки оказывает значительное влияние на низкочастотную область частотной характеристики микрофона. Чувствительность электромагнитного микрофона пропорциональна количеству витков обмотки, определяющему также внутреннее сопротивление микрофона, и величине магнитного потока.

Один из самых миниатюрных электромагнитных микрофонов типа ММ301, выпущенный фирмой «Сенхайзер», имеет размеры 10×7×4,5 мм; его частотная характеристика приведена на рис. 52,*а*; полное внутреннее сопротивление его на 1 000 Гц равно 4 500 Ом; чувствительность 1,6 мВ·м²/Н на нагрузке 4 500 Ом.

У нас для слуховых аппаратов выпускаются два типа электромагнитных микрофонов, имеющих размеры 16×11×6 мм с массой 7 г и 24×6×8 мм с массой 10 г. Частотная характеристика чувствительности микрофона больших размеров (М1) (относительно чувствительности на частоте 1 000 Гц) показана на рис. 52, *а*,

а его устройство — на рис. 52, *б*. Активное сопротивление его обмотки 250—300 Ом; при этом чувствительность на частоте 1 000 Гц достигает 3—5 мВ·м²/Н. Как видно из рис. 52, *а* частотные характеристики чувствительности электромагнитных микрофонов сходны с частотными характеристиками чувствительности пьезомикрофонов.



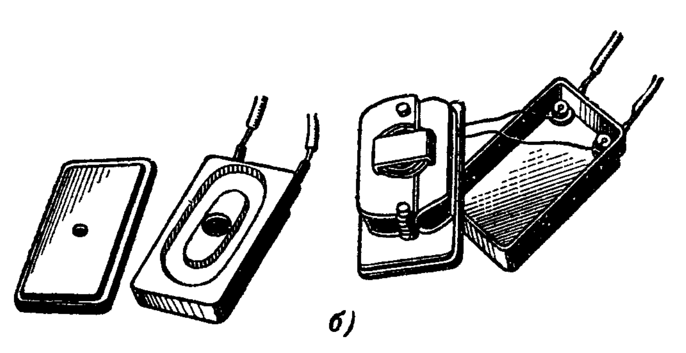


Рис. 52. Электромагнитные микрофоны.

а — частотные характеристики чувствительности электромагнитных микрофонов от слуховых аппаратов; *б* — устройство одного из них (*M1*).

Широкое распространение получил дифференциальный электромагнитный микрофон ДЭМШ-1, устройство которого схематически показано на рис. 53, *а*. Модернизированный тип ДЭМШ-1А имеет полюсные наконечники, ввинчивающиеся во фланцы, что обеспечивает удобную регулировку зазора между ними и диафрагмой. Частотная характеристика чувствительности микрофона ДЭМШ-1 приведена на рис. 53, *б*, его средняя чувствительность при одинаковых

электрических параметрах по сравнению с электромагнитным микрофоном от слухового аппарата ниже на 20—25 дБ. Активное сопротивление обмотки 70—150 Ом.

В отличие от всех других типов описанных здесь микрофонов, являющихся звукоприемниками давления, ДЭМШ-1 имеет открытую

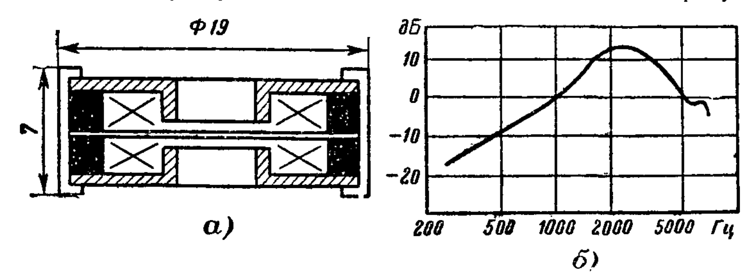


Рис. 53. Электромагнитный микрофон ДЭМШ-1.

а — устройство; *б* — частотная характеристика чувствительности.

с обеих сторон диафрагму, а потому является приемником градиента давления. Чуствительность такого микрофона близка к нулю, в случае если направление приходящего звука лежит в плоскости диафрагмы (звук приходит сбоку).

Такое свойство при надлежащем расположении микрофона около рта говорящего (микрофон должен почти вплотную прилегать ребром к углу рта) резко уменьшает воздействие внешних шумов. Это происходит потому, что шум, воздействуя на обе стороны диафрагмы синфазно, эквивалентен по своему действию на диафрагму звуковому сигналу, приходящему сбоку, так как диафрагма остается неподвижной. В то же время звуки речи воздействуют сильнее на одну сторону диафрагмы, обращенную ко рту, и поэтому вызывают колебания диафрагмы и электрический сигнал. Аналогичный эффект может быть получен, если говорить в один из двух одинаковых микрофонов-приемников давления (ненаправленных), размещенных вплотную один к другому и включенных встречно (противофазно). Такая комбинация из двух близко расположенных приемников давления, включенных встречно, обладает характеристикой направленности приемника градиента давления, т. е. «восьмеркой».

Пьезокерамический микрофон. Этот тип микрофона является разновидностью описанного выше пьезоэлектрического микрофона. Отличие состоит в том, что вместо пластинок из сегнетовой соли используют пластинки кристаллического строения, изготовленные из керамики цирконат-титанат-свинца или другого состава. Этот сравнительно новый пьезоэлектрический материал значительно расширил область применения микрофона вследствие его негигроскопичности, температуростойкости (до 260 °С) и механической прочности. Его использование сильно упростило технологию изготовления пьезоэлементов самых разнообразных форм, которые прессуются в соответствующих формах, а затем обжигаются.

Миниатюрный пьезокерамический микрофон был создан для слуховых аппаратов с целью уменьшения нижней границы диапазона воспринимаемых им звуков. Как показали исследования, для хоро-

шей разборчивости речи лицами с нормальным и пониженным слухом достаточно удовлетворительным является диапазон канала связи от 300 до 3 500 Гц. При этом частотная характеристика может быть плоской или наклонной с крутизной 6 дБ на октаву, но должна иметь крутой спад выше и ниже указанной полосы частот. Электромагнитный микрофон в основном отвечал требованиям максимальной разборчивости речи, но не обеспечивал полной натуральности тембра голоса. В большей мере это делает пьезокерамический микрофон. Его частотная характеристика чувствительности приведена на рис. 54. Там же для сравнения пунктиром нанесена характеристика широко используемого электромагнитного микрофона. Следует указать, что

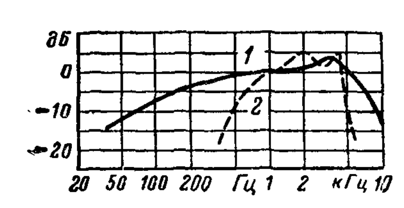


Рис. 54. Частотные характеристики чувствительности миниатюрных микрофонов.

1 — пьезокерамического; *2* — электромагнитного.

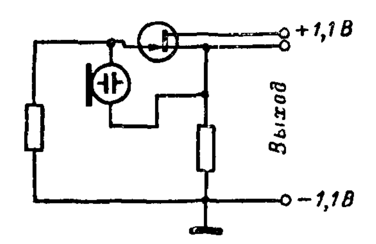


Рис. 55. Схема усилительного каскада пьезокерамического микрофона.

приведенная характеристика пьезокерамического микрофона сделана такой специально с целью повышения разборчивости; в исходном состоянии этот микрофон имел плоскую характеристику в диапазоне от 50 до 8 000 Гц. Описываемый микрофон имеет еще одну особенность, состоящую в том, что для уменьшения влияния помех, вызываемых электрическими наводками на его цепи, возможных из-за высокого выходного сопротивления пьезоэлектрического элемента, внутрь микрофона помещен усилительный каскад с полевым транзистором, рассчитанный на питание напряжением 1,1 В; схема каскада показана на рис. 55. Наличие усилительного каскада снизило выходное сопротивление до 12 кОм; потребляемый транзистором ток составляет всего 0,025 мА. В связи с наличием усилительного каскада микрофон имеет три выводных конца. Габариты микрофона 3×5,5×4 мм, а чувствительность около 16 мВ·м²/Н, что на порядок выше чувствительности электромагнитного микрофона примерно таких же габаритов. Уровень собственного шума пьезокерамического микрофона вследствие расширения рабочего диапазона частот на 5 дБ выше, чем у электромагнитного микрофона подобных габаритов. Эквивалентный акустический уровень шума равен 28 дБ (над порогом $2 \cdot 10^{-5}$ Н/м²).

Транзисторный микрофон. Не так давно известная американская фирма «Белл телефон лабораториз» разработала миниатюрный транзисторный микрофон, обладающий высокой чувствительностью и большим к. п. д. Такой микрофон состоит из плоскостного транзистора и диафрагмы, механически связанной сапфировой иглой с эмит-

тером транзистора. Звуковые волны, падающие на диафрагму, приводят ее в колебания, которые, передаваясь через иглу эмиттеру, создают переменные давления на него и изменяют сопротивление эмиттерного перехода в транзисторе, а следовательно, и тока через него. Таким путем звуковое давление преобразуется в электрическое напряжение.

Изменение сопротивления эмиттерного перехода аналогично действию сигнала в цепи эмиттер — база в транзисторном усилителе. Вследствие этого транзисторный микрофон, помимо преобразования звукового давления в электрическое напряжение, усиливает еще и величину последнего.

Транзисторные микрофоны потребляют ток, в 20—100 раз меньший, чем угольные микрофоны, что обусловливает приблизительно в 100 раз более высокий их к. п. д. Чувствительность транзисторного микрофона в 4 раза выше угольного. Отношение сигнал/шум транзисторных микрофонов равно 54 дБ. Коэффициент гармоник меньше 3% на частоте 1 000 Гц при звуковом давлении 0,3 Н/м^2.

Частотная характеристика и чувствительность транзисторного микрофона определяются размерами диафрагмы и конструкцией ее соединения с транзистором. Существуют несколько способов передачи давления от диафрагмы плоскостному транзистору. Эмиттер транзистора может быть присоединен к диафрагме непосредственно (без сапфировой иглы); диафрагмой может служить тонкая упругая полупроводниковая пластинка, на которой методом диффузии или осаждения создан эмиттерный переход (такие микрофоны более надежны, а технология их изготовления более проста).

Транзисторный микрофон может применяться в различной аппаратуре, однако, несмотря на его достоинства, он до сих пор не получил распространения, видимо по причине недостаточной стабильности.

Ларингофон. Для восприятия речи в условиях окружающего шума высокой интенсивности, где малогабаритный микрофон-приемник градиента давления (подобный ДЭМШ) не обеспечивает связи, используют ларингофон.

В отличие от микрофона, воспринимающего звуковые колебания по воздуху, ларингофон предназначен для приема колебаний (вибраций) гортанных хрящей, вызываемых вибрациями голосовых связок при голосообразовании. Поскольку ларингофоны (обычно используются одновременно два) соприкасаются с кожей в области гортани, их иногда называют контактными микрофонами.

Таким образом, ларингофоны представляют собой приемник вибраций гортани. К звуковому давлению в воздухе ларингофон мало чувствителен, так как оно воздействует на его корпус, обладающий значительно более высоким механическим сопротивлением, чем диафрагма любого микрофона. Вследствие этого амплитуда колебаний корпуса ларингофона и создаваемое ими электрическое напряжение будут ничтожной величины.

По способу преобразования колебаний ларингофоны могут быть угольными, электромагнитными и пьезоэлектрическими. Первыми ларингофонами были угольные (рис. 56); в них вследствие колебаний корпуса изменялось электрическое сопротивление угольного порошка, находившегося в корпусе. Для своей работы угольные ларингофоны нуждаются в источнике постоянного напряжения 3—6 В. Изменение сопротивления ларингофона приводит к изменению тока через него и последовательно с ним включенную нагрузку. Произведение

переменной составляющей тока на сопротивление нагрузки образует напряжение сигнала. Угольные ларингофоны обладают большой чувствительностью, но большим уровнем собственных шумов и значительными нелинейными искажениями сигнала. Более совершенными являются электромагнитные и пьезоэлектрические ларингофоны. Электромагнитный ларингофон состоит из пластмассового корпуса, подобного показанному на рис. 56, внутри которого расположена электромагнитная система прямоугольной формы, сходная с применяющимися в телефонах. Эта система не касается корпуса ларингофона, а упруго установлена на якоре, жестко соединенном с основанием корпуса ларингофона, прикладываемого к гортани. При колебаниях корпуса ларингофона происходят взаимные перемещения корпуса с якорем и магнитной системы, в результате которых изменяется магнитный поток, пронизывающий катушку, и в ней индуцируется э. д. с.

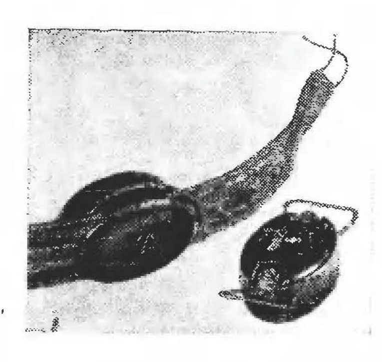


Рис. 56. Внешний вид ларингофона.

Сходное устройство имеет пьезоэлектрический ларингофон. У этого ларингофона внутри пластмассового корпуса на его основании закреплен одним концом биморфный пьезоэлектрический элемент прямоугольной формы. Колебания корпуса ларнngофона приводят к изгибным деформациям биморфного элемента, и на его обкладках возникает э. д. с.

СОЕДИНЕНИЕ МИКРОФОНОВ

Обычно при одновременном использовании нескольких микрофонов каждый из них присоединяется к индивидуальному усилителю (каскаду), имеющему регулятор громкости и даже тембра. Однако иногда необходимо подключить дополнительный микрофон без наличия индивидуального усилителя. В этом случае знание особенностей соединения двух и более микрофонов весьма полезно. Каждый микрофон полагается нагружать номинальным сопротивлением нагрузки, указанным в его паспорте, только при этом сохраняются неизмененными остальные параметры микрофона. Несоответствие нагрузки номиналу влечет за собой изменения чувствительности и частотной характеристики чувствительности микрофона, а иногда и появление искажений.

Для лучшего представления существа вопроса рассмотрим последовательное соединение двух однотипных микрофонов, имея в виду, что нагрузка r каждого микрофона должна быть равна его выходному сопротивлению $R_м=200$ Ом. На первый взгляд этому условию удовлетворяет схема на рис. 57, *а*. Однако при более внимательном рассмотрении видно, что каждый из микрофонов в этой схеме оказывается нагруженным сопротивлением 600 Ом, образованным сопротивлением нагрузки и выходным сопротивлением другого

микрофона, т. е. имеет место несогласованность нагрузок. Несогласованное включение получается при соединении микрофонов параллельно (рис. 57, *б*). В этом случае согласования микрофонов с нагрузкой нет потому, что каждый микрофон нагружен параллельно соединенным сопротивлением нагрузки и выходным сопротивлением другого микрофона, что составляет 100 Ом вместо требующихся 200 Ом. Для устранения рассогласования нагрузок при соединении нескольких микрофонов применяют дополнительно резисторы, включаемые параллельно или последовательно с микрофонами. Конечно, наличие этих дополнительных резисторов приводит к уменьшению сигнала от микрофонов, что равноценно уменьшению их чувствительности и увеличению уровня собственного шума, но зато оно сохраняет неизменными остальные параметры. На рис. 58, *а* показана схема последовательного соединения двух микрофонов, которая может обеспечить необходимую нагрузку для микрофонов. Расчет сопротивлений дополнительных резисторов и нагрузки в этой схеме и в схемах, приведенных ниже, производится совместным решением двух выражений: первого — для полного сопротивления схемы, если

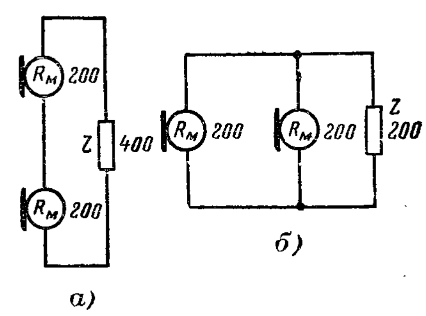


Рис. 57. Неправильные схемы соединения микрофонов.

а — последовательно; *б* — параллельно.

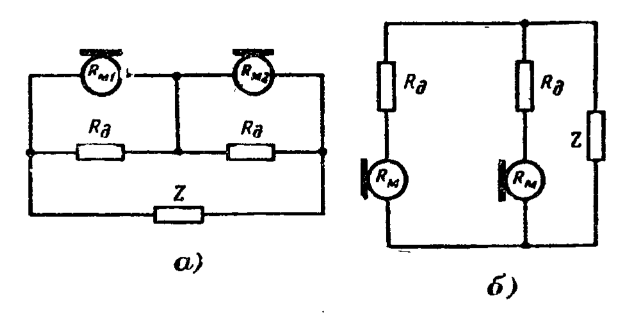


Рис. 58. Схемы, в которых осуществлено согласованное включение двух микрофонов.

а — последовательно; *б* — параллельно.

смотреть на нее со стороны микрофона, и второго, если смотреть на схему со стороны нагрузки z. Покажем это на примере схемы на рис. 58, *а*, сохраняя условие, что сопротивление нагрузки каждого микрофона z равно его выходному сопротивлению $R_м$. Итак, полное сопротивление схемы, если смотреть на нее со стороны микрофона,

$R_{м1}$, должно быть равно выходному сопротивлению, т. е.

$$R_{м1}=\frac{R_д\left(z+\frac{R_д R_{м2}}{R_д+R_{м2}}\right)}{R_д+z+\frac{R_д R_{м2}}{R_д+R_{м2}}}.$$

Полное сопротивление схемы, если смотреть на нее стороны нагрузки z и учитывать, что оба микрофона одинаковы, т. е. $R_{м1}=R_{м2}=R_м$, будет

$$z=\frac{2R_м 2R_д}{2R_м+2R_д}=\frac{2R_м R_д}{R_м+R_д}.$$

Подставив полученное значение z в предыдущее выражение для $R_м$ и произведя необходимые упрощения, получим $R_д=2R_м$ и $z=(4/3)R_м$.

Следует иметь в виду, что если сопротивление нагрузки не соответствует расчетной величине, то его можно довести до расчетной величины либо последовательным включением резистора, в случае когда сопротивление нагрузки меньше расчетной величины, либо параллельным, когда оно больше ее.

Аналогичным методом определяем величины дополнительных сопротивлений для схемы параллельного включения двух микрофонов (рис. 58, *б*), которые получаются равными $R_д=R_м/2$ и $z=(3/4)R_м$.

Для схемы комбинированного включения четырех микрофонов (два параллельно и два последовательно), приведенной на рис. 59, *а*, эти величины будут $R_д=R_м$ и $z=R_м$, а для подобной схемы на рис. 59, *б* $R_д=4R_м$ и $z=(4/5)R_м$.

Как было указано, расчетные значения сопротивлений дополнительных резисторов и сопротивлений нагрузок во всех приведенных схемах соответствуют условию, что результирующее сопротивление нагрузки микрофона равно его выходному сопротивлению $R_м$. В том случае, если результирующее сопротивление нагрузки по условию работы микрофона должно быть иным, например $3R_м$, в выражении для общего сопротивления схемы, полученном, если смотреть со стороны микрофона, следует в левой части подставить вместо $R_м$ — $3R_м$. Полезно знать способ измерения выходного сопротивления микрофона (он пригоден и для измерения выходного сопротивления усилителя). Микрофон возбуждается звуковым сигналом от громкоговорителя, питаемого звуковым генератором, или от измерительной грампластинки (если измеряется выходное сопротивление усилителя, то на его вход подается напряжение от одного из этих источников). Выход микрофона присоединяется к высокоомному милливольтметру, например МВЛ, и измеряется выходное напряжение микрофона без нагрузки $U_{хх}$. Затем к выходу микрофона присоединяется резистор $R_н$, сопротивление которого одного порядка с величиной номинальной нагрузки микрофона, и снова измеряется выходное напряжение при неизменном звуковом сигнале $U_н$. Затем выходное сопротивление микрофона $R_м$ рассчитывают по формуле

$$R_м=\frac{U_{хх}-U_н}{U_н}R_н.$$

Если сопротивление нагрузки микрофона неизвестно, то присоединяют резистор $R_н$ сопротивлением 300—500 Ом, и если выходное напряжение микрофона резко уменьшится, то увеличивают сопротивление резистора. Очень удобно измерять выходное сопротивление микрофона при наличии магазина сопротивлений. В этом случае вместо $R_н$ включают магазин сопротивлений и, изменяя величину сопротивления, добиваются, чтобы милливольтметр показал половину напряжения $U_{хх}$; это означает в соответствии с формулой равенство

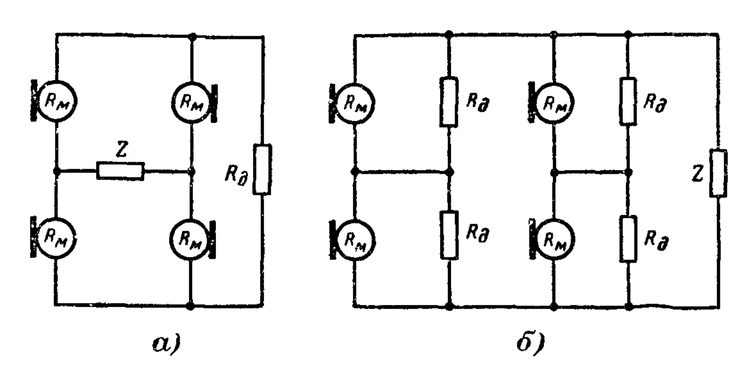


Рис. 59. Схемы комбинированного соединения четырех микрофонов с согласованной нагрузкой для каждого из них.

а — с одним добавочным сопротивлением; *б* — с добавочным сопротивлением для каждого микрофона.

сопротивлений: установленного в магазине и выходного сопротивления микрофона. Можно вместо магазина сопротивлений использовать переменный резистор, а установленное сопротивление резистора, соответствующее половине выходного напряжения микрофона, измерить омметром.

Микрофоны следует включать синфазно. Если микрофоны имеют отметку о фазе («полярности»), то выполнение этого требования сводится к тому, что при последовательном соединении микрофонов соединяются их выводы, помеченные разными знаками, а при параллельном — выводы, помеченные одинаковым знаком. Если имеющиеся микрофоны не имеют отметки о «полярности», то необходимо произвести их фазировку. Сделать это можно следующим образом: два микрофона устанавливаются вплотную рядом, так что их оси слегка повернуты внутрь (приблизительно под углом 45° одна к другой). Выходы обоих микрофонов соединяются последовательно и с усилителем, к выходу которого присоединен вольтметр. Затем микрофоны возбуждаются звуком с частотой 250—500 Гц от громкоговорителя или камертоном и фиксируется показание вольтметра. После этого меняют местами выводы одного из микрофонов и повторяют измерение. Измерение, при котором напряжение, показываемое вольтметром, выше, соответствует правильному соединению микрофонов. Отмечают выводы обоих микрофонов и, заменив один из них третьим микрофоном (если в этом есть надобность), повторяют измерения.

При наличии электронно-лучевого осциллографа можно осуществить фазировку микрофонов несколько иначе. Два микрофона устанавливаются и возбуждаются так же, как и в первом варианте. Выводы микрофонов присоединяют: одного — к усилителю вертикального отклонения, второго — к усилителю горизонтального отклонения; развертка отключается

В зависимости от взаимной «полярности» присоединения микрофонов на экране осциллографа при возбуждении микрофонов будет видна наклонная линия (под углом 45° к горизонтали при одинаковом усилении обоих усилителей осциллографа и одинаковой чувствительности обоих микрофонов)

Наклонная линия, идущая вверх слева направо, соответствует синфазному включению обоих микрофонов, т. е. выводы микрофонов, присоединенные к входным зажимам усилителей, имеют одинаковую фазу, которую следует отметить.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ХРАНЕНИЕ И КАЛИБРОВКА МИКРОФОНОВ

При эксплуатации микрофоны укрепляют на подставках, стойках или штативах различной длины: коротких, если микрофон устанавливается на столе или кафедре, и длинных при установке на полу. В больших студиях микрофоны подвешиваются на «журавлях» — длинных трубчатых держателях, позволяющих во время передачи перемещать микрофон над головами исполнителей.

Микрофоны чувствительны к вибрациям, сотрясениям и толчкам, которые могут возникать в помещении, где установлен микрофон, или в соседних помещениях и передаваться через ограждающие помещение стены, пол и потолок и соприкасающиеся с микрофоном предметы (стол, штатив и т. п.). Например, вибрации басовых инструментов оркестра, проходя по полу к микрофонной стойке, могут воздействовать на микрофон и исказить звучание. Поэтому микрофоны должны быть надежно амортизированы (виброизолированы). Особенно тщательно следует амортизировать микрофоны, подвешенные на «журавлях».

При установке и перевозке микрофоны следует предохранять от ударов и резких сотрясений.

По окончании работы на катушечный микрофон необходимо надеть чехол (лучше из пленки), предохраняющий микрофон от попадания в него пыли и стальных опилок. Хранить микрофоны необходимо в помещении с относительной влажностью воздуха не выше 80% и температурой не ниже +5 °С. По сравнению с ленточными и некоторыми конденсаторными микрофонами катушечные микрофоны более устойчивы к сотрясениям, а также к изменениям температуры и влажности.

Условия эксплуатации и хранения ленточных микрофонов в основном такие же, однако наличие в них весьма тонкой и свободно висящей ленточки требует еще большей осторожности. Чтобы ленточка не провисла, она должна всегда находиться в вертикальном положении, а микрофон следует держать на подставке, стойке или другом устройстве и хранить только в футляре.

Конденсаторные микрофоны во время работы находятся под напряжением, поэтому двигать, переставлять и переносить их желательно при отключенном питании. Располагать конденсаторные микрофоны и их соединительные кабели следует возможно дальше от линий

переменного тока. По окончании работы и выключении питания на микрофон необходимо надеть специальный предохранительный чехол из влагонепроницаемой пленки. Следует иметь в виду, что повышенная влажность воздуха вредна для конденсаторных микрофонов, а потому они редко используются для работы на открытом воздухе.

Использование микрофонов любого типа на открытых пространствах или в больших театральных и концертных залах сопряжено с возможностью появления значительных шумовых помех. Такие помехи вызываются воздушными потоками от ветра, сквозняков, движения больших сценических занавесов. Особенно опасны воздушные потоки для ленточных микрофонов, которые могут выйти из строя из-за обрыва или деформации звукоприемной ленточки. Для защиты от таких помех применяют противоветровые экраны, надеваемые на звукоприемную часть микрофонов.

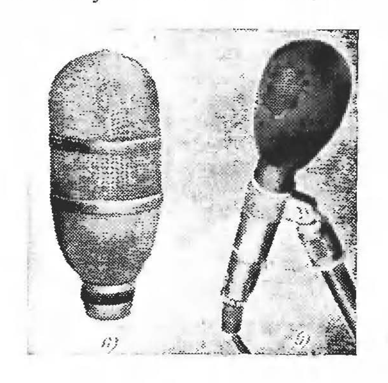


Рис. 60. Внешний вид противоветровых экранов для микрофонов.

а — с тонкой тканью; *б* — с поролоном.

Противоветровые экраны представляют собой либо проволочный каркас, обтянутый несколькими слоями ткани, либо двуслойные перфорированные оболочки из пластмассы или металлической сетки, между слоями которых расположены еще два-три слоя тонкой ткани или капроновой ваты (рис. 60, *а*). Наиболее простым экраном может служить мешочек из поролона толщиной 3—5 мм (рис 60, *б*). В крайнем случае микрофон можно просто обернуть несколькими слоями шелковой или капроновой ткани.

Противоветровый экран несколько ослабляет чувствительность микрофона, главным образом в области высших частот, но правильный выбор материалов и конструкции таких экранов позволяет сделать это ослабление минимальным. Для предохранения от влажности некоторые противоветровые экраны покрываются или пропитываются влагоотталкивающими (кремнеорганическими) составами; для хранения микрофонов используют влагозащитные чехлы и футляры.

При длительных перерывах в работе микрофон рекомендуется укладывать в специальный футляр (чемодан).

Осторожное обращение с микрофоном необходимо и во время обычных проб перед работой. Ни в коем случае не следует дуть в микрофон; достаточно слегка постучать по корпусу карандашом или ногтем и негромко сказать несколько слов на расстоянии 10—15 см от микрофона.

В процессе эксплуатации необходимо систематически проверять как сам микрофон, так и все соединительные кабели, питающие устройства и другие детали, входящие в комплект микрофона. Проверка самого микрофона может сводиться к калибровке, т. е. измерению частотной характеристики его чувствительности или просто определению его чувствительности на одной или нескольких частотах. Последнее делается обычно для быстрой проверки пригодности микрофона.

Калибровку микрофона чистым тоном (синусоидальным сигналом) производят в заглушенной камере или на открытом воздухе вдали от отражающих поверхностей и в 15—25 см над землей. Наиболее просто калибровка осуществляется с помощью образцового («эталонного») микрофона (желательно небольших размеров), который, будучи помещен в непосредственной близости к калибруемому микрофону, позволяет оценить звуковое давление, воздействующее на последний. Источником звука обычно служит электродинамический громкоговоритель, подключенный к звуковому генератору.

Определив образцовым микрофоном величину звукового давления и измерив милливольтметром напряжение сигнала от калибруемого микрофона при сопротивлении нагрузки намного большем номинального, делят величину напряжения на звуковое давление и находят чувствительность калибруемого микрофона в режиме «холостого хода». Если образцовый микрофон обладает хорошей частотной характеристикой (близкой к горизонтальной линии) и имеется звуковой генератор или усилитель с автоматическим регулятором уровня (АРУ), то с помощью последнего поддерживается постоянная величина звукового давления, что упрощает калибровку.

Если имеется хороший по своим параметрам магнитофон, то калибровка может производиться без постоянного применения образцового микрофона. Он нужен только в начале калибровки, чтобы, поддерживая АРУ постоянную и определенную величину звукового давления, записать на магнитную ленту сигнал, подаваемый на громкоговоритель. После этого образцовый микрофон уже не нужен. Точно на его место надо установить калибруемый микрофон, а на громкоговоритель подавать сигнал уже не от звукового генератора, а от магнитофона. Напряжение на громкоговорителе при этом должно точно соответствовать тому, которое было на нем во время записи. Поскольку величина звукового давления известна, для определения чувствительности калибруемого микрофона необходимо измерить или записать самописцем уровня только его выходное напряжение.

Располагая магнитной записью сигнала, обеспечивающего определенное звуковое давление (в неизменных акустических условиях и с тем же громкоговорителем), можно осуществлять многократную калибровку одного или многих микрофонов, пользуясь только 1 раз образцовым микрофоном.

Необходимость проведения калибровки микрофона в заглушенной камере или на открытом воздухе обусловлена влиянием отражающих поверхностей, всегда имеющихся в обычном помещении. Отражения звуковых волн от этих поверхностей нарушают однородность звукового поля вследствие образования стоячих волн, поэтому незначительное перемещение микрофона ведет к значительному изменению звукового давления, что резко снижает точность калибровки.

Если для калибровки микрофонов вместо синусоидального сигнала использовать узкую полосу частот, вырезаемую из белого шума, то благодаря статистическому усреднению результатов измерения в этом случае приближенную калибровку можно выполнить и в обычном помещении. Для получения шумового сигнала используют шумовой генератор. Ширина полосы частот, вырезаемой фильтром, составляет $1/3$ или $1/2$ октавы. Полосовой фильтр следует включить в микрофонный (приемный) тракт, а громкоговоритель возбуждать или через однооктавный фильтр (что лучше), или же источником широкополосного шума.

ПРИЛОЖЕНИЯ

6—1200

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ДАННЫЕ

Тип микрофона	Номинальный диапазон частот, Гц	Неравномерность частотной характеристики чувствительности, дБ	Номинальное сопротивление нагрузки, Ом	Стандартный уровень осевой чувствительности, дБ	Чувствительность на 1 000 Гц при номинальной нагрузке, мВ·м²/Н
					Катушечные
МД-38	50—15 000	8	250/60	—78	0,63/0,3
МД-38Ш	40—10 000	8	120	—74	—
МД-44	100—8 000	12	250	—78	0,63
МД-45	50—15 000	12	250	—78	0,63
МД-46	100—5 000	25	250	—72	1,25
МД-47	100—10 000	20	500000	—	15
МД-49	100—8 000	10	250	—78	0,63
МД-51	80—5 000	12	120	—78	—
МД-52А	50—15 000	12	250	—74	1,0
МД-54	140—10 000	15	250	—80	0,5
МД-59	50—15 000	8	250	—78	0,63
МД-61	100—10 000	12	250	—88	0,2
МД-62	100—10 000	12	250	—88	0,2
МД-63	60—15 000	20	250	—79	—
МД-63Р	60—15 000	20	250	—79	—

МИКРОФОНОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Средняя (наименьшая) разность чувствительности «фронт—тыл», дБ	Вид характеристики направленности**	Габариты, мм	Масса с подставкой или штативом, г	Основное назначение
микрофоны				
—	НН	Ø 30×140	200*	Студийный, трансляционный
—	НН	Ø 34×127	150*	Измерительный вариаит для шумомеров
10	ОН	Ø 33×50	200	Речевой, репортажный
12	ОН	Ø 37×115	270	Студийный, трансляционный
12	ОН	Ø 50×65	1 400	Речевой
—	НН	94×71×32	260	Любительский
15	ОН	Ø 33×50	250	Речевой
18	ООН	Ø 36×60 с трубкой 800 мм	—	Специальный
12(6)	ОН	Ø 32×121	160	Универсальный
8	ОН	Ø 23×65	90*	Репортажный
—	НН	Ø 34×120	600	Студийный, трансляционный
8	ОН	Ø 20×75	50*	Репортажный
—	НН	Ø 20×75	50*	То же
—	НН	Ø 22×68	100*	Нагрудный или петличный
—	НН	Ø 22×68	80*	Для комплектации радиомикрофонов

Тип микрофона	Номинальный диапазон частот, Гц	Неравномерность частотной характеристики чувствительности, дБ	Номинальное сопротивление нагрузки, Ом	Стандартный уровень осевой чувствительности, дБ	Чувствительность на 1 000 Гц при номинальной нагрузке, мВ·м²/Н
МД-64	100—10 000	12	250	—74	1,0
МД-64А	100—12 000	10 (от 0,2 до 12 кГц)	—	—	1,0 (холостой ход)
МД-200	100—10 000	12	250	—	1,5 (холостой ход)
М-65А	120—10 000	15	250	—75	0,9
МД-66	100—14 000	18	250	—70	2,1
МД-69	50—15 000	8	250	—74	1,0
МДО-1	150—8 000	15	250	—78	0,63
82А-5М	50—10 000	10	250	—69	1,75
82А-9	100—8 000	12	300	—74	1,0
82А-11	150—8 000	17	400	—74	1,25
					Ленточные
МЛ-15	50—10 000	5	250	—76	0,8
МЛ-16	50—15 000	10	250	—78	0,63

Средняя (наименьшая) разность чувствительности «фронт—тыл», дБ	Вид характеристики направленности**	Габариты, мм	Масса с подставкой или штативом, г	Основное назначение
12	ОН	Ø 35×62	120	Бытовой с автотрансформатором для нагрузок 3—5 кОм и 0,5 МОм
12	ОН	Ø 33×115	200*	Для транзисторных магнитофонов с кнопкой для включения
12	ОН	Ø 34×120	120*	Любительский
8	ОН	Ø 22×80	80*	Репортажный
12(9)	ОН	Ø 37×80	135	Речевой, для диспетчерской и командной связи
12	НН, ОН, ДН	40×70×110	380*	Студийный, универсальный. Характеристики направленности управляются дистанционно
15	ООН	Ø 35×151	1 200	Речевой, для звукоусиления
18(9)	ОН	Ø 44×130	175*	Универсальный, для тонателье, в киностудиях
15	ОН	Ø 30×100	100*	Речевой, репортажный
15	ООН	Ø 30×200	250*	Речевой для звукоусиления
микрофоны				
—	ДН	57×70×220	1 350	Студийный, универсальный
—	ДН	Ø 54×225	1 500	То же

Тип микрофона	Номинальный диапазон частот, Гц	Неравномерность частотной характеристики чувствительности, дБ	Номинальное сопротивление нагрузки, Ом	Стандартный уровень осевой чувствительности, дБ	Чувствительность на 1 000 Гц при номинальной нагрузке, мВ·м²/Н
МЛ-17	70—10 000	12	250	—76	0,8
МЛ-18	100—10 000	10	250	—78	0,63
МЛ-19	70—10 000	10	250	—74	1,0
					Конденсаторные
МК-5а	20—20 000	4	250	—73	1,1
МК-6	20—40 000	5	250	—74	1,0
МИК-6С	20—15 000	5	600	—64	6,0
МК-12	50—15 000	9	600	—62	6,0
МК-13	50—15 000	6	600	—60	8,0
МК-14	50—15 000	8	600	—60	8,0
МК-15	50—15 000	12	600	—62	6,0
19А-4	50—12 000	10	250	—58	6,0
19А-9	40—15 000	10	37±10	—66	2,5
19А-13	30—15 000	6	250	—52	15,0
19А-14	40—15 000	9	250	—64	3,75
19А-19	40—15 000	8	250	—	16,0 (холостой ход)

* Масса без кабеля и подставки, а для конденсаторных микрофонов масса

** НН — ненаправленная характеристика (круг); ОН — односторонне «восьмерка»); ООН — односторонняя остронаправленная характеристика.

Средняя (наименьшая) разность чувствительности «фронт—тыл», дБ	Вид характеристики направленности**	Габариты, мм	Масса с подставкой или штативом, г	Основное назначение
12	ОН	∅55×293	1 700	Студийный, универсальный
15	ООН	∅53×260	1 100*	Специальный
12	ОН	40×45×135	500*	Студийный, универсальный
микрофоны				
—	НН	∅20×110	75*	Измерительный
—	НН	∅55×95	50*	То же
—	НН	—	—	То же
14(10)	ОН	25×155	150*	Для музыкальных передач и трансляций, с вынесенным капсюлем
12	НН, ЭН, ДН	25×46×166	260*	Для музыкальных передач, с дистанционным управлением характеристиками направленности
12	НН, ОН, ДН	∅46×250	600*	Стереофонический, с дистанционным управлением характеристиками направленности
10	ОН, в вертикальной плоскости	58×58×70	210*	Универсальный, ненаправленный в горизонтальной плоскости
20(10)	НН, ОН	∅31×135	120*	Студийный, для музыкальных передач
10	ОН	40×50×200	200*	То же
18(8)	ОН	32×50×116	170*	То же
—	ОН	43×80×133	200*	То же
17	ОН	∅40×155	170*	Для музыкальных передач, виброусточивый для установки на журавлях при панорамировании

капсюля с выходным каскадом без питающего устройства.
направленная (кардиоида); ДН — двусторонне направленная (косинусоида —

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ДАННЫЕ

Тип и марка микрофона	Фирма	Номинальный диапазон частот, Гц	Неравномерность частотной характеристики, дБ	Внутреннее сопротивление, Ом	Чувствительность на частоте 1 000 Гц при холостом ходе, мВ·м²/Н	Сопротивление номинальной нагрузки, Ом
						Электродинамические
D-17	AKG (Австрия)	15—14 000	20	200	2,0	1000
D-19	То же	30—16 000	18	60/200	1,0/1,8	150/400
D-20	» »	30—18 000	14	60/200	0,9/1,6	300/1000
D-25	» »	30—18 000	14	60/200	0,9/1,6	300/1000
D-24	» »	30—20 000	18	60/200	1,0/1,8	150/500
D-30	» »	30—16 000	12	75/150	1,2	—
D-36	» »	30—16 000	12	75; 150; 500	1,2	—
D-45	AKG (Австрия)	30—15 000	12	75; 150; 500	1,2	—
D-200	То же	30—17 000	8	250	1,4	500
D-202	» »	20—18 000	7	200	1,8	500
D-224	» »	20—20 000	5	250	1,3	500
D-501	» »	50—15 000	22	200	2,2	400
D-503	» »	50—15 000	22	200	2,2	400

НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ЗАРУБЕЖНЫХ МИКРОФОНОВ

Разность чувствительностей между фронтом и тылом, дБ		Вид характеристики направленности*	Габариты, мм	Масса, г	Основное назначение и особенности
средняя	минимальная				
катушечные микрофоны					
18	8	ОН	∅ 43,5×106	300	Студийный, речевой
15	10	ОН	∅ 38×152	160	То же
18	14	ОН	186×77×54	630	Универсальный
18	14	ОН	200×150×80	850	Для трансляции, с амортизированным подвесом
20	10	ОН	∅ 40×156	180	Студийный
20	—	ОН, НН, ДН	260×87×63	1 000	Универсальный
20	—	Универсальный	212×87×63	950	То же, но регулировка направленности и н. ч. корректор вынесены в отдельный блок, имеется восемь различных характеристик направлености
20	—	Универсальный	200×150×88	1 200	Для трансляций, с амортизированным подвесом
—	10	ОН	∅ 40×185	300	Универсальный (двухполосный)
20	—	ОН	∅ 51×210	300	То же
—	14	ОН, НН	∅ 25×195	280	То же, но с корректором низших частот
—	6	ОН, НН	∅ 55×175	340	Репортажный, с выключателем на корпусе
—	6	ОН	∅ 55×115	440	Репортажный, с гибким креплением типа «гусиная шея»

Тип и марка микрофона	Фирма	Номинальный диапазон частот, Гц	Неравномерность частотной характеристики, дБ	Внутренее сопротивление, Ом	Чувствительность на частоте 1 000 Гц при холостом ходе, мВ·м²/Н	Сопротивление номинальной нагрузки, Ом
D-505	AKG (Австрия)	50—15 000	30	200	2	300
D-507	То же	50—15 000	30	200	2	300
MD-7	EAC (Венгрия)	100—10 000	—	300/10⁵	1,5/22	—
MD-14	То же	100—15 000	—	200	1,5	—
MD-21	» »	80—15 000	—	200	1,5	—
AMD-360	«Тесла» (Чехословакия)	50—20 000	15	200	1,5	1 000
AMD-261	То же	70—20 000	21	200	1,5	1 000
			Электродинамические катушечные			
D-66	AKG (Австрия)	50—15 000	22	200	2,2	400
D-77 A	То же	80—13 000	15	200	2,2	—
				Конденсаторные		
C-12 A	AKG (Австрия)	10—20 000	5	200/50	4	500/150
C-28 C	То же	30—18 000	7	200/50	13	500/150

Разность чувствительностей между фронтом и тылом, дБ: средняя	Разность чувствительностей между фронтом и тылом, дБ: минимальная	Вид характеристики направленности*	Габариты, мм	Масса, г	Основное назначение и особенности
—	12	ОН	∅ 55×175	340	Репортажный, специальный для работы с близкого расстояния от источника звука
—	12	ОН	∅ 55×115	440	То же, что и D-505, но с гибким креплением типа «гусиная шея»
—	—	ОН ОН	38×53×77	220	Для любительских магнитофонов с выходным трансформатором
13,5	—	НН	∅ 49×60	110	Репортажный, речевой
15	—	НН	∅ 47×200	150	Универсальный
—	—	НН	∅ 30×240	220	Студийный
—	—	НН	∅ 30×180	200	Универсальный
стереофонические микрофоны					
—	10	ОН	45×75××120	290	Для стереофонической записи по системам MS и XY
13	5	ОН	∅ 58×138	410	Для работы по системе AB (капсюли могут разъединяться)
микрофоны					
25	10	Три основные и шесть промежуточных	40×40×195	190	Студийный, переключатель характеристик направленности находится на блоке питания
20	**10**	ОН	∅ 26×174	220	Для трансляций, капсюль можно заменить ненаправленным (НН); при этом чувствительность равна 10 мВ·м²/Н

Тип и марка микрофона	Фирма	Номинальный диапазон частот, Гц	Неравиомерность частотной характеристики, дБ	Внутреннее сопротивление, Ом	Чувствительность на частоте 1 000 Гц при холостом ходе, мВ·м²/Н	Сопротивление номинальной нагрузки, Ом
С-29С	AKG (Австрия)	30—18 000	7	200/50	12	500/150
С-30С	То же	30—18 000	7	200/50	10	500/150
С-60	» »	30—18 000	7	200/50	8	500/150
М-269С	Нойман (ФРГ)	30—16 000	7	200/50	10/15,5	1 000/250
КМ-56С	То же	40—15 000	10	200/50	20	1 000/250
КМ-63 (64)	Нойман (ФРГ)	40—18 000	—	200/50	9	—
КМ-66	То же	40—18 000	—	200/50	10	—
U-47	» »	35—15 000	8	200/50	25	—
U-48	» »	35—15 000	8	200/50	20	—
U-64	» »	40—18 000	—	200/50	11	—
U-67	» »	30—16 000	5	200/50	20	—
4145	Брюель и Кьер (Даиия)	3—18 000	4	—	50	—
4133	То же	4,5—40 000	4	—	12,5	—
4135	То же	4,5—100 000	4	—	4	—

Разность чувствительностей между фронтом и тылом, дБ		Вид характеристики направленности*	Габариты, мм	Масса, г	Основное назначение и особенности
средняя	минимальная				
20	10	ОН	∅ 26×174	—	То же, что и С-28С, но капсюль с удлиненной трубкой 33 или 100 см
20	10	ОН	∅ 26×174	—	То же, что и С-28С, но капсюль с удлиненной трубкой 33 или 100 см
20	10	ОН	∅ 18×100	65	Студийный, также может применяться ненаправленный капсюль (НН)
20	8	ОН, НН, ДН	∅ 56×201	500	Студийный, имеется корректор низших звуковых частот
20	8	ОН, НН, ДН	∅ 21×152	125	Студийный, переключатель направленности находится на корпусе
—	—	НН (ОН)	∅ 21×124	120	Студийный, имеется переключатель для понижения чувствительности на 10 дБ
—	—	ОН НН, ДН	∅ 48×175	210	Студийный, переключатель направленности находится на корпусе
—	—	ОН, НН	∅ 63×240	700	Студийный
—	—	ОН, ДН	∅ 63×240	700	То же
—	—	ОН	∅ 21×124	120	Студийный, имеется переключатель для понижения чувствительности на 10 дБ
—	10	ОН, НН, ДН	∅ 56×201	540	Студийный
—	—	НН	∅ 24×19		Измерительный капсюль
—	—	НН	∅ 13×13		То же
—	—	НН	∅ 7×10,5		То же

Тип и марка микрофона	Фирма	Номинальный диапазон частот, Гц	Неравномерность частотной характеристики, дБ	Внутреннее сопротивление, Ом	Чувствительность на частоте 1 000 Гц при холостом ходе, мВ·м²/Н	Сопротивление номинальной нагрузки, Ом
						Конденсаторные
SM-21C	Нойман (ФРГ)	40—15 000		200/50	10	—
SM-69	То же	40—15 000		200/50	10	—
SM-69	То же	30—20 000		200/50	15	—
C-24	AKG (Австрия)	40—20 000	12	200/50	10	—

* НН — ненаправленная характеристика (круг): ОН — одностороннне направлен (косинусоида — «восьмерка»).

Разность чувствительностей между фронтом и тылом, дБ: средняя	Разность чувствительностей между фронтом и тылом, дБ: минимальная	Вид характеристики направленности*	Габариты, мм	Масса, г	Основное назначение и особенности
стереофонические микрофоны					
—	—	ОН, НН, ДН	Ø 28×200	500	Студийные, переключатель характеристик направленности находится на блоке питания. Верхний капсюль поворачивается относительно нижнего на 270°. Переходное затухание 45 дБ; SM-23C может работать с питанием от батареи
—	—	ОН, НН, ДН	Ø 28×200	500	
—	—	ОН, НН, ДН	Ø 48×254	450	
20	10	ОН, НН, ДН	Ø 43×255	650	

ная характеристика (кардиоида); ДН — двусторонне направленная характеристика

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бабуркин В. Н., Гензель Г. С., Павлов Н. Н.** Электроакустика и радиовещание. М., «Связь», 1967, с. 90—126.

2. **Фурдуев В. В.** Акустические основы вещания. М., Связьиздат, 1960, с. 107—156.

3. **Цирулина Э. В.**, Основы звукотехники. М., «Искусство», 1970, с. 48—67.

4. **Беранек Л.** Акустические измерения. М., Изд-во иностр. лит., 1952, с. 105—166.

5. Каталог «Изделия радиопромышленности», т. V, выпуск «Микрофоны», Научно-исследовательский институт экономики и информации по радиоэлектронике (НИИЭИР), Москва, 1967.

6. Дополнение выпуска «Микрофоны», НИИЭИР, Москва, 1970.

ОГЛАВЛЕНИЕ



Цена 24 коп.